

1-ый Конвертер SO<sub>2</sub>  
R 104/1

16017-43/6-K01.001PP

Расчеты

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
31	26.10.16	19		

2016

# СОДЕРЖАНИЕ

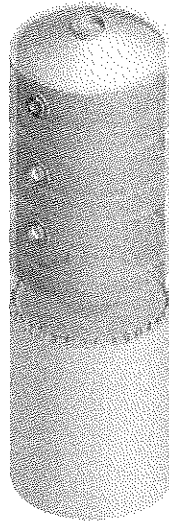
1.	Общие положения .....	3
2.	Расчет штуцера В1 .....	4
3.	Расчет конуса поз. 45 .....	9
4.	Расчет опоры поз. 1 .....	20
5.	Расчет цилиндрического участка опоры .....	24
6.	Расчет переходного участка опоры .....	26
7.	Расчет опорного узла поз. 1 .....	29
8.	Постамент колонного аппарата .....	34
9.	Расчет обечайки поз. 38 .....	35
10.	Расчет обечайки поз. 37 .....	41
11.	Расчет обечайки поз. 35 .....	47
12.	Расчет обечайки поз. 36 .....	53
13.	Расчет обечайки поз. 35 .....	59
14.	Расчет обечайки поз. 34 .....	65
15.	Расчет люка М1, М2 и М3 .....	71
16.	Расчет конуса поз. 44 и поз. 46 .....	76
17.	Расчет штуцера А1 .....	85
18.	Список литературы .....	91
19.	Лист регистрации изменений .....	92

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата	<p align="center"><b>16017-43/6-K01.001PP</b></p>						
31	26.10.16				1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16	<p align="center"><b>1-ый Конвертер SO<sub>2</sub></b>  <b>R 104/1</b>  <b>Расчеты</b></p>	<p align="center">Лит.    Лист    Листов</p> <p align="center">Т    2    92</p>
					Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		
					Разраб.	Суворова	Суб	25.10.16			
					Проверил	Аксенов	Суб	25.10.16			
					Н. контр.	Груздева	Суб	25.10.16			
Утвердил	Ильичев	Суб	25.10.16	<p align="center"><b>Гипрогазоочистка</b>          Инжиниринговая компания</p>							

## 1. Общие положения

- 1.1 Расчет на прочность выполнен на ЭВМ по программе «Пассат 2.10», разработанной ООО НТП «Трубопровод».
- 1.2 Данный расчет рассматривать совместно с чертежом 16017-43/6-K01.001BO.

*Общий вид аппарата*



Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
31	26.10.16			

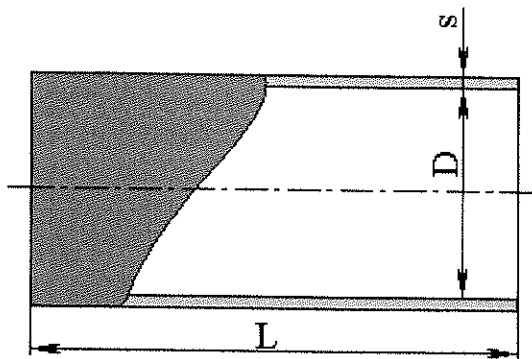
  

1	Зам.	1209-16	Субо	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

**16017-43/6-K01.001PP**

Лист
3

## 2. Расчет штуцера В1



### 2.1. Исходные данные

Материал:	08X18H10
Внутр. диаметр, D:	1100 мм
Толщина стенки, s:	10 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c <sub>1</sub> :	0 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c <sub>2</sub> :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	0,8 мм
Длина обечайки, L:	150 мм

### 2.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	580 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,02000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	0,2155 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	0,17 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	1,383 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 1100) / (2 \cdot 58,5 \cdot 1 - 0,02000) + 0,8 = 0,9881 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (10 - 0,8) / (1100 + 10 - 0,8) = 0,9704 \text{ МПа}$$

0,9704 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. име. №	Подпись и дата
31					

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

4

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\Gamma}}\right)^2}} = 51,57 / (1 + (51,57 / 487,7)^2)^{1/2} = 51,29 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1018 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\Gamma}}\right)^2}} = 46,5 / (1 + (46,5 / 278,8)^2)^{1/2} = 45,86 \text{ тс}$$

### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 1,383 / 1552 + 0,2155 / 51,29 + (0,17 / 45,86)^2 = 0,005107 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (1100 + 10 - 0,8) \cdot (10 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 = 187,5 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\Gamma}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\Gamma}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 1100^2 / 4) / 187,5 + 0,2155 / 51,57 = 0,01431 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

## 2.3. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

### Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	580 °C
Расчётное наружное избыточное давление, p:	0,01000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	0,2155 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	0,17 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	1,383 тс

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №
31	30.06.10.16			

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

5

## Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580\text{ }^{\circ}\text{C}$  :

$$E = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1018 \text{ mm}$$

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок :

$$s_p + c = \max \left\{ 1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0.4}; \frac{1.2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \{ 1.06 \cdot 10^{-2} \cdot 1100 / 1 \cdot (0.01000 / (10^{-5} \cdot 1.552 \cdot 10^5)) \cdot 1018 / 1100 \}^{0.4}; 1.2 \cdot 0.01000 \cdot 1100 / (2 \cdot 58.5 - 0.01000) \} = 2.302 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_s = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot 1100 / (2,4 \cdot 1 \cdot 1018) \cdot (100 \cdot (10 - 0,8) / 1100)^{2.5}}{1} = 0,9302 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_{\pi} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot (10 - 0,8) / (1100 + 10 - 0,8) = 0,9704 \text{ МПа}$$

$$0,6715 \text{ MPa} \geq 0,01000 \text{ MPa}$$

**Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено**

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_E}\right)^2}} = 51,57 / (1 + (51,57 / 487,7)^2)^{1/2} = 51,29 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_{\text{н}}}{[Q]_{\text{Е}}} \right)^2}} = 46,5 / (1 + (46,5 / 278,8)^2)^{1/2} = 45,86 \text{ тс}$$

*Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)*

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,6715 + 1,383 / 1552 + 0,2155 / 51,29 + (0,17 / 45,86)^2 = 0,02000 \leq 1$$

**Заключение: Условие устойчивости выполнено**

#### 2.4. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

**Условия нагружения при испытаниях:**

Расчётная температура, Т:

20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического),  $p$ : 0,05900 МПа

Име. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	
31				<p>Допускаемое поперечное усилие :</p> $[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 46,5 / (1 + (46,5 / 278,8)^2)^{1/2} = 45,86 \text{ тс}$ <p><b>Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)</b>  Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.</p> <p>Проверка условия устойчивости: <math>\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)</math></p> $\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,6715 + 1,383 / 1552 + 0,2155 / 51,29 + (0,17 / 45,86)^2 = 0,02000 \leq 1$ <p>Заключение: <b>Условие устойчивости выполнено</b></p> <p style="text-align: center;"><b>2.4. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)</b></p> <p><b>Условия нагружения при испытаниях:</b></p> <p>Расчётная температура, Т: <span style="float: right;">20 °С</span></p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), р: 0,05900 МПа</p>

1	Зам.	1209-16		25.10.16	16017-43/6-K01.001PP
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	

Лист

6

Расчётный изгибающий момент, М: 0,03000 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0,6372 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,05900 \cdot 1100) / (2 \cdot 210 \cdot 1 - 0,05900) + 0,8 = 0,9545 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 210 \cdot 1 \cdot (10 - 0,8) / (1100 + 10 - 0,8) = 3,484 \text{ МПа}$$

$$3,484 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 185,1 / (1 + (185,1 / 837,9)^2)^{1/2} = 180,8 \text{ тс м}$$

### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 0,6372 / 2666 + 0,03000 / 180,8 + (0 / 0)^2 = 0,4049 \cdot 10^{-3} \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (1100 + 10 - 0,8) \cdot (10 - 0,8) \cdot 210 \cdot 1 = 673,2 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,05900 \cdot 3,142 \cdot 1100^2 / 4) / 673,2 + 0,03000 / 185,1 = 0,008490 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	31	16017-43/6-K01.001PP	Лист
1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16		
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

## 2.5. Расчёт в условиях монтажа

### Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 0 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0 тс  
 Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 0,05721 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot (10 - 0,8) / (1100 + 10 - 0,8) = 3,8 \text{ МПа}$$

$$3,8 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

**Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)**

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (1100 + 10 - 0,8) \cdot (10 - 0,8) \cdot 229,1 \cdot 1 = 734,4 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

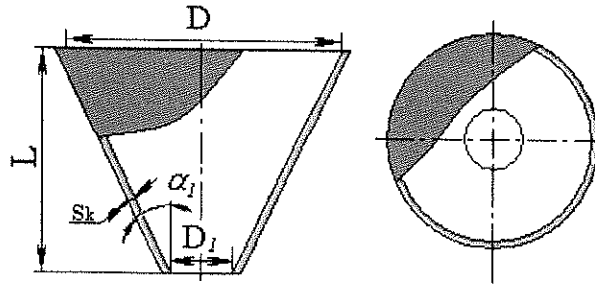
$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 202 / (1 + (202 / 837,9)^2)^{1/2} = 196,3 \text{ тс м}$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	26.12.16			

1	Зам.	1209-16	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP	Лист 8
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	

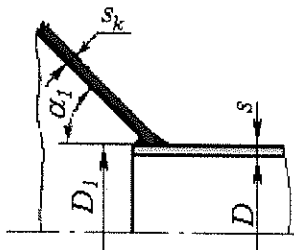


### 3. Расчет конуса поз. 45

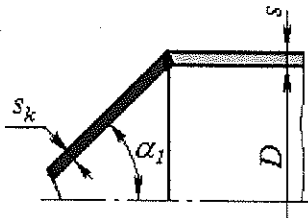


#### 3.1. Исходные данные

Материал обечайки: 08X18H10  
 Диаметр большого основания, D: 5800 мм  
 Диаметр меньшего основания, D<sub>1</sub>: 1120 мм  
 Толщина стенки, s<sub>k</sub>: 12 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c<sub>1</sub>: 0 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска, c<sub>2</sub>: 0,8 мм  
 Прибавка технологическая, c<sub>3</sub>: 0 мм  
 Сумма прибавок, c: 0,8 мм  
 Длина обечайки, L: 2100 мм  
 Смещение левого основания по горизонтали, X<sub>0</sub>: 0 мм  
 Смещение левого основания по вертикали, Y<sub>0</sub>: 0 мм  
**Левый (нижний) узел соединения:**  
 Соединение конической обечайки с цилиндрической меньшего диаметра без укрепления



**Правый (верхний) узел соединения:**  
 Соединение конической и цилиндрической обечайек без укрепления



#### 3.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, T: 580 °C

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	31.06.10.16		

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
9

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,02000 МПа

Расчётный изгибающий момент, М: 0,5547 тс м

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 2,973 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °С (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °С :

E = 1,552·10<sup>5</sup> МПа

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) / (5573 / \cos(48,09) + 12 - 0,8) = 0,1569 \text{ МПа}$$

0,1569 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{гр}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5776 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5776 \cdot (12 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot \cos(48,09) = 1147 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{л}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8680 / 4 \cdot 8680 \cdot (12 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot \cos(48,09) = 2590 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 8680 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot (8680 \cdot \cos(48,09))^2 / 2,4 \cdot (100 \cdot (12 - 0,8) / 8680)^{2,5} = 999,4 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{гр}} ; [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 1147, 932,3 \} = 932,3 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \left( \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} \leq 1 \right)$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} = (2,973 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5776^2 / 4) / 794,1 + 0,5547 / 1147 = 0,07022 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### 3.3. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, T: 580 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,02000 МПа

Расчётный изгибающий момент, М: 18,91 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 66,26 тс

Име. № подл.	Подпись и дата
31	31.08.10.16

1	Зам.	1209-16	Суп	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

10

## Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$ :

$$E = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_F \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) / (5573 / \cos(48,09) + 12 - 0,8) = 0,1569 \text{ МПа}$$

$$0,1569 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$[M]_{\text{тп}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5800 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5800 \cdot (12 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot \cos(48,09) = 1156 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{т}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8684 / 4 \cdot 8684 \cdot (12 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot \cos(48,09) = 2592 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 8684 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot (8684 \cdot \cos(48,09))^2 / 2,4 \cdot (100 \cdot (12 - 0,8) / 8684)^{2,5} = 999,6 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{тп}} ; [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 1156, 932,6 \} = 932,6 \text{ тс м}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 / 0 + 66,26 / 381,7 + 18,91 / 932,6 = 0,1939 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \left( \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} \leq 1 \right)$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 797,4 + 18,91 / 1156 = 0,08262 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

**Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:**

**Свойства материала несущей обечайки:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma]_k = 58,5 \text{ МПа}$$

**Свойства материала соседнего элемента:**

Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					
Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					
				16017-43/6-K01.001PP				
1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16				
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата				
				Лист 11				

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$$[\sigma]_s = 58,5 \text{ МПа}$$

$$0,3986 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

$$\text{Проверка условия прочности: } \left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,02000 / 0,3986 + 1,316 / 47,78| + 0,2155 / 13,14 = 0,09411 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

**Свойства материала несущей обечайки:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$$[\sigma]_k = 58,5 \text{ МПа}$$

**Свойства материала соседнего элемента:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$$[\sigma]_s = 58,5 \text{ МПа}$$

$$0,09350 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

$$\text{Проверка условия прочности: } \left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,02000 / 0,09350 + 66,26 / 215,9| + 18,91 / 313,1 = 0,5811 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### 3.4. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 580 °C

Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,01000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 0,5547 тс м

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 2,973 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

$$E = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_{\Pi} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot (12 - 0,8) / (5573 / \cos(48,09) + 12 - 0,8) = 0,1569 \text{ МПа}$$

Имя, № подл.	Подпись и дата	Имя, № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Имя, № дубл.	Подпись и дата
31	31.06.10.16					

1	Зам.	1209-16	31.06.10.16	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP	Лист 12
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_E = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D_E}{l_E} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_E} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot 8666}{(2,4 \cdot 1 \cdot 3144) \cdot (100 \cdot (12 - 0,8) / 8666)^{2,5}} = 0,02226 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{[p]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_{\pi}}{[p]_E} \right)^2}} = \frac{0,1569}{\sqrt{1 + (0,1569 / 0,02226)^2}} = 0,02204 \text{ МПа}$$

$$0,02204 \text{ МПа} \geq 0,01000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\pi p} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = \frac{5776}{4} \cdot 3,142 \cdot 5776 \cdot (12 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot \cos(48,09) = 1147 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\pi} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = \frac{8680}{4} \cdot 8680 \cdot (12 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot \cos(48,09) = 2590 \text{ тс м}$$

$$[M]_E = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = \frac{8680}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,552 \cdot 10^5}{(8680)^{2,5} / 2,4 \cdot (100 \cdot (12 - 0,8) / 8680)^{2,5}} = 999,4 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ [M]_{\pi p}; [M]_{уст} \} = \min \{ 1147, 932,3 \} = 932,3 \text{ тс м}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0,01000 / 0,02204 + 0 / 0 + 0,5547 / 932,3 = 0,4543 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\left( \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\pi p}} \leq 1 \right)$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\pi p}} = \frac{(2,973 + 0 \cdot 3,142 \cdot 5776^2 / 4) / 794,1 + 0,5547}{1147} = 0,004227 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### 3.5. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, T: 580 °C

Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,01000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 18,91 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 66,26 тс

Име. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Име. № дубл.
Подпись и дата	
Име. № подл.	

1	Зам.	1209-16	С.П.К.	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

13



**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Проверка условия прочности:  $\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |(-0,01000) / 0,3986 + 1,316 / 47,78| + 0,2155 / 13,14 = 0,01885 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

**Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:**

**Свойства материала несущей обечайки:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$[\sigma]_k = 58,5$  МПа

**Свойства материала соседнего элемента:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$[\sigma]_s = 58,5$  МПа

$0,09350$  МПа  $\geq 0,01000$  МПа

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Проверка условия прочности:  $\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |(-0,01000) / 0,09350 + 66,26 / 215,9| + 18,91 / 313,1 = 0,2603 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### 3.6. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

**Условия нагружения при испытаниях:**

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,05900 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 0,03000 тс м  
 Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 2,247 тс

**Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 252 / 1,2 = 210$  МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$E^{20} = 2 \cdot 10^5$  МПа

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 * 210 * 1 * (12 - 0,8) / (5573 / \cos(48,09) + 12 - 0,8) = 0,5631 \text{ МПа}$$

$0,5631$  МПа  $\geq 0,05900$  МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Условие прочности выполнено	16017-43/6-K01.001PP	Лист				
							15				
							Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
							1	Зам.	1209-16	С.П.С.	25.10.16
							Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{тп}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5776 / 4 * 3,142 * 5776 * (12 - 0,8) * 210 * 1 * \cos(48,09) = 4116 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{тн}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8680 / 4 * 8680 * (12 - 0,8) * 210 * \cos(48,09) = 9296 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 8680 / 3,5 * 310 * 10^{-6} * 2 \cdot 10^5 * (8680 * \cos(48,09))^2 / 1,8 * (100 * (12 - 0,8) / 8680)^{2,5} = 1717 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ M_{\text{тп}} ; M_{\text{уст}} \} = \min \{ 4116, 1689 \} = 1689 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: 
$$\left( \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} \leq 1 \right)$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} = (2,247 + 0,05900 * 3,142 * 5776^2 / 4) / 2851 + 0,03000 / 4116 = 0,05503 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### 3.7. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

#### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,05900 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 8,93 тс м  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 25,74 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e20} / n_T = 1 * 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 * 210 * 1 * (12 - 0,8) / (5573 / \cos(48,09) + 12 - 0,8) = 0,5631 \text{ МПа}$$

$$0,5631 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{тп}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5800 / 4 * 3,142 * 5800 * (12 - 0,8) * 210 * 1 * \cos(48,09) = 4151 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{тн}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8684 / 4 * 8684 * (12 - 0,8) * 210 * \cos(48,09) = 9304 \text{ тс м}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Условие прочности выполнено
31	26.10.16				
I	Зам.	1209-16		25.10.16	16017-43/6-K01.001PP
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	



$$[M]_E = \frac{D_F}{3.5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2.5} = 8684 / 3.5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (8684 \cdot \cos(48,09))^2 / 1,8 \cdot (100 \cdot (12 - 0,8) / 8684)^{2.5} = 1717 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{M_{\text{пр}}; M_{\text{уст}}\} = \min \{4151, 1689\} = 1689 \text{ тс м}$$

#### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 / 0 + 25,74 / 683,4 + 8,93 / 1689 = 0,04296 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\left( \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1 \right)$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,05900 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 2862 + 8,93 / 4151 = 0,05661 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

#### Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

##### Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20^\circ \text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]_{20}^k = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

##### Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20^\circ \text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]_{20}^s = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

$$1,431 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Проверка условия прочности:  $\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,05900 / 1,431 + 0,5756 / 171,5| + 0,03000 / 47,17 = 0,04522 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

#### Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

##### Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20^\circ \text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]_{20}^k = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

##### Свойства материала соседнего элемента:

Име. № подл.	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
31			26.10.16

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист

17

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

$$0,3356 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Проверка условия прочности: 
$$\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,05900 / 0,3356 + 25,74 / 775,1| + 8,93 / 1124 = 0,2169 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### 3.8. Расчёт в условиях монтажа

**Условия нагружения при монтаже:**

Расчётная температура,  $T$ :  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Расчётное внутреннее избыточное давление,  $p$ :  $0 \text{ МПа}$

Расчётный изгибающий момент,  $M$ :  $0 \text{ тс м}$

Расчётное осевое растягивающее усилие,  $F$ :  $4,413 \text{ тс}$

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 * 229,1 * 1 * (12 - 0,8) / (5573 / \cos(48,09) + 12 - 0,8) = 0,6142 \text{ МПа}$$

$$0,6142 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### 3.9. Расчёт в условиях монтажа

**Условия нагружения при монтаже:**

Расчётная температура,  $T$ :  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Расчётное внутреннее избыточное давление,  $p$ :  $0 \text{ МПа}$

Расчётный изгибающий момент,  $M$ :  $16,42 \text{ тс м}$

Расчётное осевое сжимающее усилие,  $F$ :  $68,25 \text{ тс}$

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Име. № подл.	Подпись и дата
31	30.06.10.16
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
31	

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
16017-43/6-K01.001PP				
				Лист 18

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) / (5573 / \cos(48,09) + 12 - 0,8) = 0,6142 \text{ МПа}$$

0,6142 МПа  $\geq$  0 МПа

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{тп}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5800 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5800 \cdot (12 - 0,8) \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot \cos(48,09) = 4528 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{тл}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8684 / 4 \cdot 8684 \cdot (12 - 0,8) \cdot 229,1 \cdot \cos(48,09) = 1,015 \cdot 10^4 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 8684 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (8684 \cdot \cos(48,09))^2 / 1,8 \cdot (100 \cdot (12 - 0,8) / 8684)^{2,5} = 1717 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ M_{\text{тп}} ; M_{\text{уст}} \} = \min \{ 4528, 1693 \} = 1693 \text{ тс м}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 / 0 + 68,25 / 684,8 + 16,42 / 1693 = 0,1094 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

**Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:**

**Свойства материала несущей обечайки:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]_{\text{тк}}^{\text{20}} = \eta \cdot R_{e20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

**Свойства материала соседнего элемента:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]_{\text{тс}}^{\text{20}} = \eta \cdot R_{e20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

**Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:**

**Свойства материала несущей обечайки:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]_{\text{тк}}^{\text{20}} = \eta \cdot R_{e20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

**Свойства материала соседнего элемента:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]_{\text{тс}}^{\text{20}} = \eta \cdot R_{e20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Проверка условия прочности:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = |0 / 0,3662 + 68,25 / 845,6| + 16,42 / 1226 = 0,09410 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

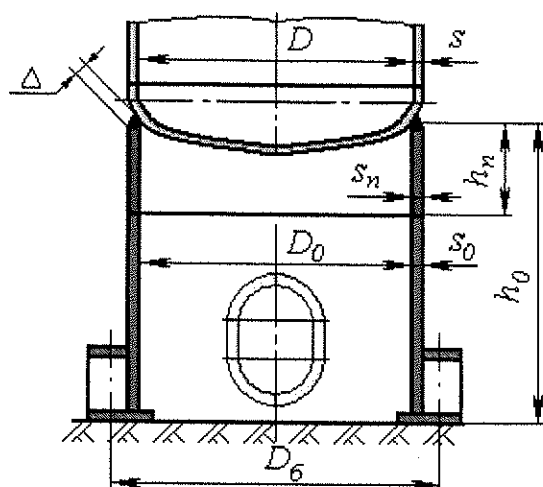
Инь. № подл.	Подпись и дата
Инь. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	26.10.16
Инь. № подл.	31

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
19

## 4. Расчет опоры поз. 1



### 4.1. Исходные данные

Несущий элемент: Конус Низ (поз. 45)  
 Высота опоры,  $h_0$ : 2000 мм  
 Диаметр верхнего основания,  $D_0$ : 5800 мм  
 Опорный элемент  
 Группа патрубков  
 Цилиндрический участок:  
 Материал: 08X18H10  
 Толщина стенки,  $s_0$ : 16 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 0 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 0,8 мм  
 Прибавка технологическая,  $c_3$ : 0 мм  
 Сумма прибавок к расчётной толщине стенки,  $c$ : 0,8 мм  
 Фундамент:  
 Бетон: В10 (М150)

### 4.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура,  $T$ : 580 °C  
 Расчётный изгибающий момент в верхнем сечении: 18,44 тс м  
 Расчётный изгибающий момент в нижнем сечении: 24,48 тс м  
 Расчётное поперечное усилие в верхнем сечении: 2,87 тс  
 Расчётное поперечное усилие в нижнем сечении: 3,173 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие,  $F$ : 76,29 тс

#### Свойства материала опорной обечайки в месте сопряжения с корпусом:

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580$  °C (рабочие условия):

$[\sigma]_0 = 58,5$  МПа

#### Свойства материала корпуса аппарата:

Име. № подл.	Подпись и дата
Име. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	28.10.16
Име. № подл.	31

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

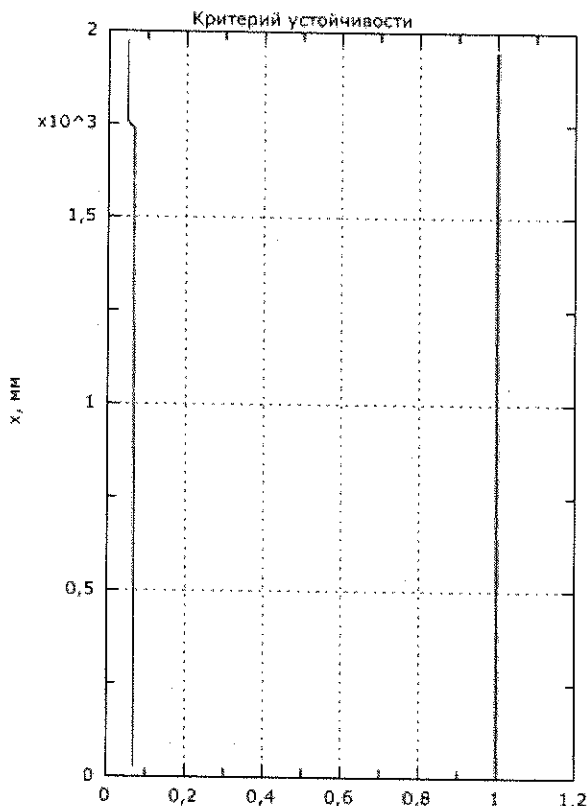
16017-43/6-K01.001PP

Лист

20

Допускаемые напряжения для материала 08Х18Н10 при температуре  $T = 580\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рабочие условия):  
 $[\sigma]_k = 58,5\text{ МПа}$

### Расчёт опорной обечайки по ГОСТ Р 51274-99



---- Критерий устойчивости

---- Предельное значение

Устойчивость опорной обечайки в опасном сечении :

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} = 76,29 / (1 \cdot 1340) + (24,4 + 76,29 \cdot 0 \cdot 5800) / (0,9979 \cdot 2020) = 0,06902$$

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} \leq 1,0; \quad \text{Условие устойчивости выполнено}$$

$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot \Delta} \cdot \left( \frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0,8 \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_k \} \quad \text{Условие прочности выполнено}$$

### 4.3. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура,  $T$ :  $580\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 Расчётный изгибающий момент в верхнем сечении:  $18,44\text{ тс м}$   
 Расчётный изгибающий момент в нижнем сечении:  $24,48\text{ тс м}$   
 Расчётное поперечное усилие в верхнем сечении:  $2,87\text{ тс}$   
 Расчётное поперечное усилие в нижнем сечении:  $3,173\text{ тс}$   
 Расчётное осевое сжимающее усилие,  $F$ :  $76,29\text{ тс}$

**Свойства материала опорной обечайки в месте сопряжения с корпусом:**

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. име. №
31	31.10.16			

1	Зам.	1209-16	31.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист

21

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рабочие условия):

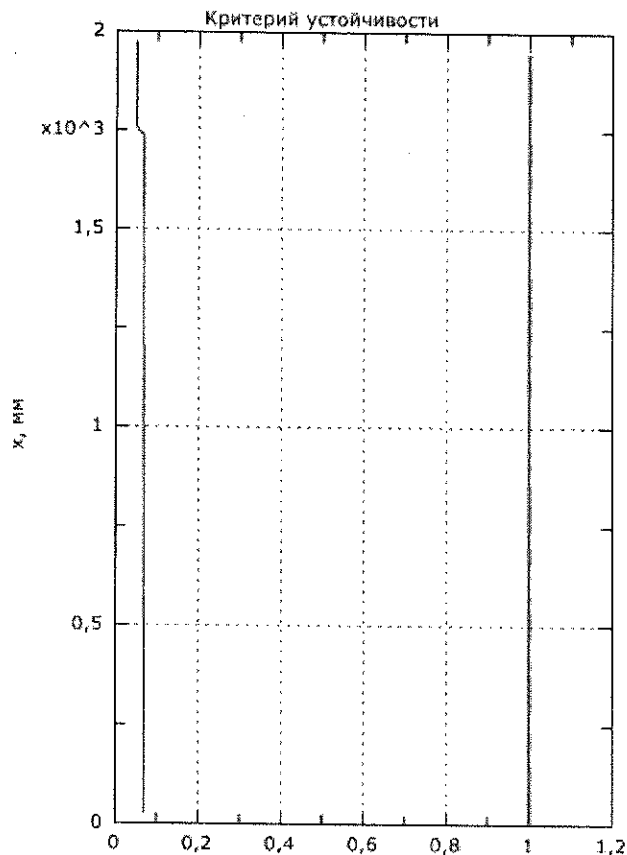
$[\sigma]_0 = 58,5\text{ МПа}$

**Свойства материала корпуса аппарата:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рабочие условия):

$[\sigma]_k = 58,5\text{ МПа}$

### Расчёт опорной обечайки по ГОСТ Р 51274-99



---- Критерий устойчивости

---- Предельное значение

Устойчивость опорной обечайки в опасном сечении :

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} = 76,29 / (1 \cdot 1340) + (24,4 + 76,29 \cdot 0 \cdot 5800) / (0,9979 \cdot 2020) = 0,06902$$

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} \leq 1,0;$$

Условие устойчивости выполнено

$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot \Delta} \cdot \left( \frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0,8 \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_k \} \quad \text{Условие прочности выполнено}$$

### 4.4. Расчёт в условиях испытаний

#### Условия нагружения:

Расчётная температура,  $T$ :  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Расчётный изгибающий момент в верхнем сечении:  $8,981\text{ тс м}$

Расчётный изгибающий момент в нижнем сечении:  $11,82\text{ тс м}$

Ине. № подл.	Подпись и дата
Ине. № дубл.	
Взам. ине. №	
Подпись и дата	26.10.16
Ине. № подл.	21

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист

22

Расчётное поперечное усилие в верхнем сечении: 1,318 тс

Расчётное поперечное усилие в нижнем сечении: 1,52 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 34,78 тс

**Свойства материала опорной обечайки в месте сопряжения с корпусом:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

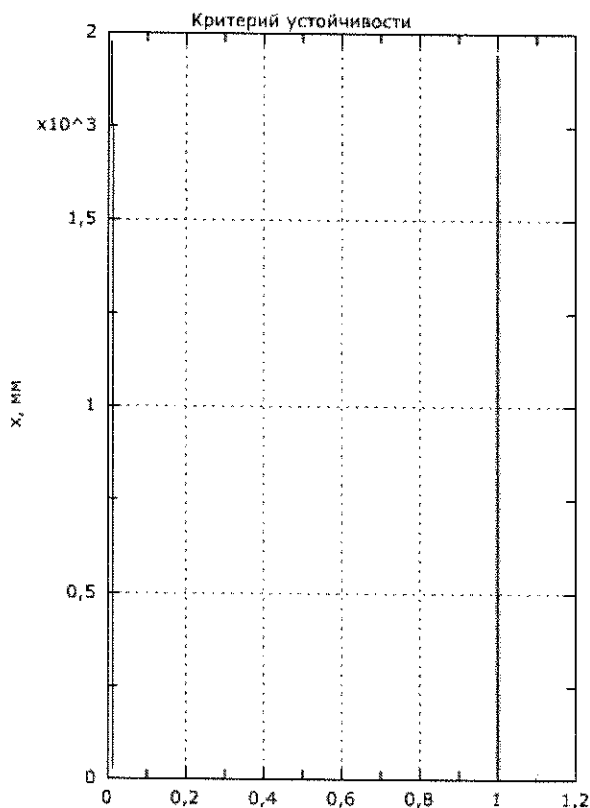
$$[\sigma]_{0=20}^{\text{тс}} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

**Свойства материала корпуса аппарата:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]_{\text{к}}^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

### Расчёт опорной обечайки по ГОСТ Р 51274-99



---- Критерий устойчивости

---- Предельное значение

Устойчивость опорной обечайки в опасном сечении :

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} = 34,78 / (1 \cdot 3340) + (11,79 + 34,78 \cdot 0 \cdot 5800) / (0,9979 \cdot 5276) = 0,01265$$

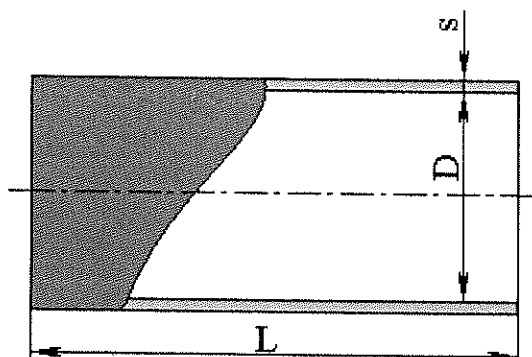
$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} \leq 1,0; \quad \text{Условие устойчивости выполнено}$$

$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot \Delta} \cdot \left( \frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0,8 \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_k \} \quad \text{Условие прочности выполнено}$$

Изм. № подл.	Подпись и дата	Изм. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изм. № дубл.	Подпись и дата	Изм. № подл.	Подпись и дата
31								

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		23

## 5. Расчет цилиндрического участка опоры



### 5.1. Исходные данные

Материал: 08X18H10  
 Внутр. диаметр, D: 5800 мм  
 Толщина стенки, s: 16 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 0 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 0,8 мм  
 Прибавка технологическая,  $c_3$ : 0 мм  
 Сумма прибавок к расчётной толщине стенки,  $c$ : 0,8 мм  
 Длина обечайки, L: 1725 мм  
**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$ :

$E = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\text{н}}}{[F]_{\text{E}}} \right)^2}} = 1624 / (1 + (1624 / 2371)^2)^{1/2} = 1340 \text{ тс}$$

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$ :

$E = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\text{н}}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 2355 / (1 + (2355 / 3929)^2)^{1/2} = 2020 \text{ тс м}$$

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$

Име. № подл.	Подпись и дата
Име. № дубл.	
Взам. име. №	
Подпись и дата	28.06.10.16
Име. № подл.	31

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
24



Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}} \right)^2}} = 5831 / (1 + (5831 / 4074)^2)^{1/2} = 3340 \text{ тс}$$

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{\sigma/20} / n_T = 1 * 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 8456 / (1 + (8456 / 6751)^2)^{1/2} = 5276 \text{ тс м}$$

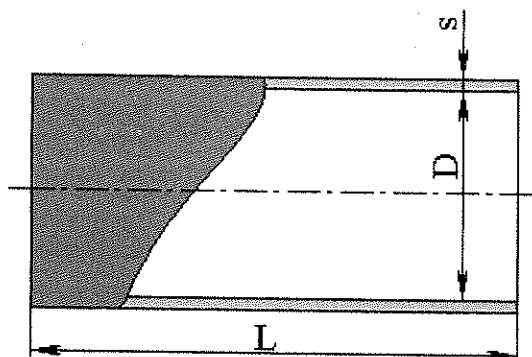
Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
38	30.06.10.16			

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

**16017-43/6-K01.001PP**

Лист
25

## 6. Расчет переходного участка опоры



### 6.1. Исходные данные

Материал: 08X18H10  
 Внутр. диаметр, D: 5800 мм  
 Толщина стенки, s: 20 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 0 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 0,8 мм  
 Прибавка технологическая,  $c_3$ : 0 мм  
 Сумма прибавок к расчётной толщине стенки,  $c$ : 0,8 мм  
 Длина обечайки, L: 250 мм  
**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$ :

$E = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E}\right)^2}} = 2053 / (1 + (2053 / 4252)^2)^{1/2} = 1849 \text{ тс}$$

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$ :

$E = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_E}\right)^2}} = 2977 / (1 + (2977 / 7046)^2)^{1/2} = 2743 \text{ тс м}$$

**Расчёт допускаемой температуры в месте стыка переходной и опорной обечайки по АТК 24.200.04-90**

*Свойства материала опорной обечайки*

Инв. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

1	Зам.	1209-16	Сут	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

26



Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\Sigma}}\right)^2}} = 1,069 \cdot 10^4 / (1 + (1,069 \cdot 10^4 / 1,211 \cdot 10^4)^2)^{1/2} = 8012 \text{ тс м}$$

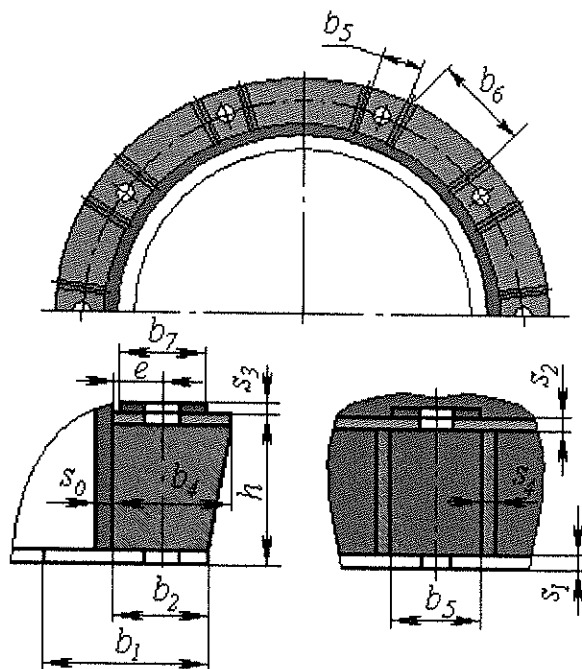
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
31	30.06.12.16			

1	Зам.	1209-16	Слб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

**16017-43/6-K01.001PP**

Лист
28

## 7. Расчет опорного узла поз. 1



Несущий элемент:

Тип элемента:

Материал:

Исполнительная толщина нижнего опорного кольца,  $s_1$ :

Ширина нижнего опорного кольца,  $b_1$ :

Выступающая ширина нижнего опорного кольца,  $b_2$ :

Наличие усиливающей пластины

Толщина усиливающей пластины,  $s_3$ :

Ширина усиливающей пластины,  $b_7$ :

Ширина верхнего опорного кольца,  $b_4$ :

Минимальное расстояние между двумя смежными ребрами,  $b_5$ :

Исполнительная толщина верхнего опорного кольца,  $s_2$ :

Исполнительная толщина ребра,  $s_4$ :

Высота опорного узла,  $h$ :

Анкерные болты:

Материал:

Номинальный диаметр,  $d$ :

Количество,  $n$

Диаметр болтовой окружности,  $D_6$ :

Опора колонного аппарата поз. 1

4

08X18H10

25 мм

280 мм

164 мм

Да

30 мм

140 мм

164 мм

160 мм

36 мм

25 мм

355 мм

Да

36

32

6020 мм

### 7.1. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

Условия нагружения:

Расчётный изгибающий момент,  $M$ : 24,48 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие,  $F$ : 76,29 тс

Инв. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подпись и дата	Инв. № дубл.
Инв. № подл.	Подпись и дата

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

29

## Результаты расчёта:

### Свойства материала элемента опорного узла:

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$$

### Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma]_0 = 58,5 \text{ МПа}$$

### Свойства материала анкерных болтов:

Допускаемые напряжения для материала X5CrNi18-10 (рабочие условия):

$$\sigma_B = 130 \text{ МПа}$$

### Свойства материала бетона:

Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150):

$$[\sigma]_{\text{бет}} = 6 \text{ МПа}$$

## Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 51274-99

### Прочность анкерных болтов (п. 9)

#### Толщина нижнего опорного кольца (п. 8.2)

$$\max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1,5 \cdot s_0 \right\} = \max \{ 0,8673 \cdot 164 \cdot ((4 \cdot 24,48 / 6020 + 76,29) / (6020 \cdot 280 \cdot 58,5))^{1/2} + 0,8; 1,5 \cdot 16 \} = 24 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } s_1 \geq \max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1,5 \cdot s_0 \right\}$$

25 мм  $\geq$  24 мм. Условие прочности выполнено

#### Ширина нижнего опорного кольца (п. 8.3)

$$\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_{\text{бет}}} = (4 \cdot 24,48 / 6020 + 76,29) / (3,142 \cdot 6020 \cdot 6) = 8,157 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } b_1 \geq \frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_6}$$

280 мм  $\geq$  8,157 мм. Условие прочности выполнено

#### Толщина верхнего опорного кольца с усиливающей пластиной (п.8.4)

$$(s_2 + \chi_3 \cdot s_3) = 36 + 0,5928 \cdot 30 = 53,78 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:

$$d_6 = 31,09 \text{ мм}$$

$$\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c = \{ 1,1 \cdot (759,3 \cdot 130 / 58,5) \}^{1/2} + 0,8 = 45,96 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } (s_2 + \chi_3 \cdot s_3) \geq \chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c$$

53,78 мм  $\geq$  45,96 мм. Условие прочности выполнено

#### Толщина ребра (п. 8.5)

$$\max \left\{ \frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_A} + c; 0,4 \cdot s_1 \right\} = \max \{ 759,3 \cdot 130 / (2 \cdot 164 \cdot 58,5) + 0,8; 0,4 \cdot 25 \} = 10 \text{ мм}$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	26.06.10.16		
Изм.	Лист	№ документа	Подпись
1	Зам.	1209-16	25.10.16
16017-43/6-K01.001PP			Лист
			30

Условие работоспособности:  $s_4 \geq \max \left\{ \frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_A} + c; 0.4 \cdot s_1 \right\}$

25 мм ≥ 10 мм. Условие прочности выполнено

**Прочность опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца (п. 8.6)**

$$\frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_\sigma \cdot [\sigma]_B \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} = 6 \cdot 0.1078 \cdot 759.3 \cdot 130 \cdot 94 / ((16 - 0.8)^2 \cdot 355) = 73.15 \text{ МПа}$$

Условие работоспособности:  $\frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_\sigma \cdot [\sigma]_B \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} \leq 1.5 \cdot [\sigma]_0$

73,15 МПа ≤ 87,75 МПа. Условие прочности выполнено

## 7.2. Расчёт в условиях монтажа

**Условия нагружения при монтаже:**

Расчётный изгибающий момент, М: 21,81 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 79,72 тс

**Результаты расчёта:**

**Свойства материала элемента опорного узла:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1.1 = 229.1 \text{ МПа}$$

**Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1.1 = 229.1 \text{ МПа}$$

**Свойства материала анкерных болтов:**

Допускаемые напряжения для материала X5CrNi18-10 (условия монтажа):

$$\sigma_B = 130 \text{ МПа}$$

**Свойства материала бетона:**

Допускаемые напряжения для бетона класса B10 (M150):

$$[\sigma]_{\text{бет}} = 6 \text{ МПа}$$

**Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 51274-99**

**Прочность анкерных болтов (п. 9)**

## 7.3. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

**Условия нагружения при испытаниях:**

Расчётный изгибающий момент, М: 11,82 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 34,78 тс

**Результаты расчёта:**

**Свойства материала элемента опорного узла:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1.2 = 210 \text{ МПа}$$

**Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1.2 = 210 \text{ МПа}$$

**Свойства материала анкерных болтов:**

Име. № подл.	Подпись и дата
Име. № дубл.	
Взам. име. №	
Подпись и дата	26.06.10.16
Име. № подл.	31

1	Зам.	1209-16	С.Г.С.	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
31

Допускаемые напряжения для материала X5CrNi18-10 (условия пневмоиспытаний) :

$\sigma_B = 130 \text{ МПа}$

**Свойства материала бетона:**

Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150) :

$[\sigma]_{бет} = 6 \text{ МПа}$

## Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 51274-99

**Прочность анкерных болтов (п. 9)**

**Толщина нижнего опорного кольца (п. 8.2)**

$$\max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1.5 \cdot s_0 \right\} = \max \{ 0,8673 \cdot 164 \cdot ((4 \cdot 11,82 / 6020 + 34,78) / (6020 \cdot 280 \cdot 210))^{1/2} + 0,8; 1.5 \cdot 16 \} = 24 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } s_1 \geq \max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1.5 \cdot s_0 \right\}$$

25 мм  $\geq$  24 мм. Условие прочности выполнено

**Ширина нижнего опорного кольца (п. 8.3)**

$$\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_{бет}} = (4 \cdot 11,82 / 6020 + 34,78) / (3,142 \cdot 6020 \cdot 6) = 3,758 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } b_1 \geq \frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_6}$$

280 мм  $\geq$  3,758 мм. Условие прочности выполнено

**Толщина верхнего опорного кольца с усиливающей пластиной (п.8.4)**

$$(s_2 + \chi_3 \cdot s_3) = 36 + 0,5928 \cdot 30 = 53,78 \text{ мм}$$

$$\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c = \{ 1,1 \cdot (759,3 \cdot 130 / 210)^{1/2} + 0,8 \} = 24,64 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } (s_2 + \chi_3 \cdot s_3) \geq \chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c$$

53,78 мм  $\geq$  24,64 мм. Условие прочности выполнено

**Толщина ребра (п. 8.5)**

$$\max \left\{ \frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_A} + c; 0.4 \cdot s_1 \right\} = \max \{ 759,3 \cdot 130 / (2 \cdot 164 \cdot 210) + 0,8; 0.4 \cdot 25 \} = 10 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } s_4 \geq \max \left\{ \frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_A} + c; 0.4 \cdot s_1 \right\}$$

25 мм  $\geq$  10 мм. Условие прочности выполнено

**Прочность опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца (п. 8.6)**

$$\frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_\sigma \cdot [\sigma]_B \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} = 6 \cdot 0,1078 \cdot 759,3 \cdot 130 \cdot 94 / ((16 - 0,8)^2 \cdot 355) = 73,15 \text{ МПа}$$

$$\text{Условие работоспособности: } \frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_\sigma \cdot [\sigma]_B \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} \leq 1.5 \cdot [\sigma]_0$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Име. № подл.
37	26.10.16				
1	Зам.	1209-16	48	25.10.16	
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	
16017-43/6-K01.001PP					Лист
					32



73,15 МПа ≤ 315 МПа. Условие прочности выполнено

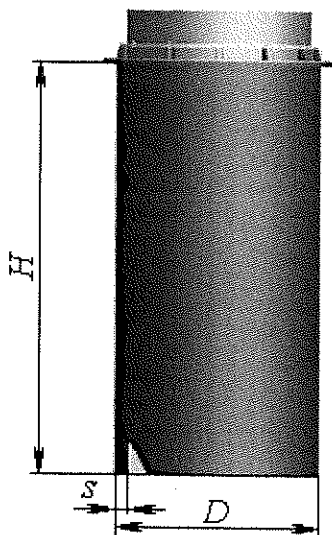
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
37	30.06.10.16			

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	16017-43/6-K01.001PP	Лист
1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16		33

## 8. Постамент колонного аппарата

### 8.1. Исходные данные



Тип постамента: Жесткая невесомая структура

Высота постамента, Н: 8250 мм

Диаметр, D: 6360 мм

## 8.2. Нагрузки на фундамент

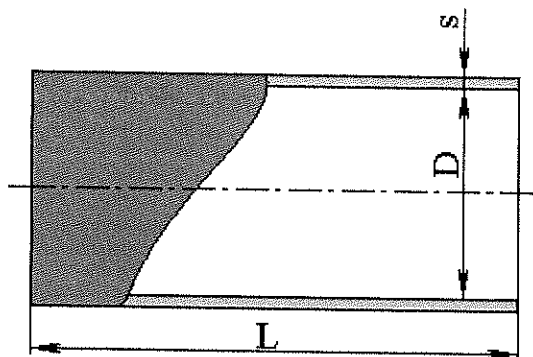
Состояние	Осевая сила, тс	Изгибающий момент, тс м	Горизонтальная сила, тс
Рабочие условия	76,45	52,14	3,613
Условия монтажа	79,88	46,6	3,262
Условия испытаний	34,94	25,28	1,785

### 8.3. Нагрузки на постамент

Состояние	Осевая сила, тс	Изгибающий момент, тс м	Горизонтальная сила, тс
Рабочие условия	76,29	24,48	3,173
Условия монтажа	79,72	21,81	2,821
Условия испытаний	34,78	11,82	1,52

Подпись и дата	8.2. Нагрузки на фундамент													
	Состояние	Осевая сила, тс	Изгибающий момент, тс м	Горизонтальная сила, тс										
	Рабочие условия	76,45	52,14	3,613										
	Условия монтажа	79,88	46,6	3,262										
	Условия испытаний	34,94	25,28	1,785										
Инв. № дубл.	8.3. Нагрузки на постамент													
	Состояние	Осевая сила, тс	Изгибающий момент, тс м	Горизонтальная сила, тс										
	Рабочие условия	76,29	24,48	3,173										
	Условия монтажа	79,72	21,81	2,821										
	Условия испытаний	34,78	11,82	1,52										
Взам. инв. №														
Подпись и дата	30.06.10.16													
Инв. № подл.	31													
<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>Зам.</td> <td>1209-16</td> <td></td> <td>25.10.16</td> </tr> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ документа</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> </tr> </table>					1	Зам.	1209-16		25.10.16	Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
1	Зам.	1209-16		25.10.16										
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата										
16017-43/6-K01.001PP														
Лист 34														

## 9. Расчет обечайки поз. 38



### 9.1. Исходные данные

Материал:	08X18H10
Внутр. диаметр, D:	5800 мм
Толщина стенки, s:	20 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c <sub>1</sub> :	0 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c <sub>2</sub> :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки, c:	0,8 мм
Длина обечайки, L:	1050 мм

### 9.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	580 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,02000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	18,91 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	2,71 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	66,03 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 5800) / (2 \cdot 58,5 \cdot 1 - 0,02000) + 0,8 = 1,792 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (20 - 0,8) / (5800 + 20 - 0,8) = 0,386 \text{ МПа}$$

0,386 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Взам. ине. №	Подпись и дата
38	26.06.10.16				

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

35

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2053 / (1 + (2053 / 4252)^2)^{1/2} = 1849 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2977 / (1 + (2977 / 7046)^2)^{1/2} = 2743 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 511,7 / (1 + (511,7 / 1047)^2)^{1/2} = 459,7 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 66,03 / 1849 + 18,91 / 2743 + (2,71 / 459,7)^2 = 0,04264 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)**

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 20 - 0,8) \cdot (20 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 = 2053 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 2053 + 18,91 / 2977 = 0,03208 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### 9.3. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, T: 580 °C

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата						
31	30.06.10.16				1	Зам.	1209-16	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP	Лист
					Изм.	Лист	№ документа	Подпись		Дата

Расчётное наружное избыточное давление, р: 0,01000 МПа

Расчётный изгибающий момент, М: 18,91 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: 2,71 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 66,03 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5$  МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

$E = 1,552 \cdot 10^5$  МПа

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$l_p = 1,122 \cdot 10^4$  мм

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок :

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}, \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \left\{ 1,06 \cdot 10^{-2} \cdot 5800 / 1 \cdot (0,01000 / (10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5))^{\cdot} \cdot \frac{1,122 \cdot 10^4}{5800} \cdot 0,4; 1,2 \cdot 0,01000 \cdot 5800 / (2 \cdot 58,5 - 0,01000) \right\} + 0,8 = 11,44 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot 5800}{(2,4 \cdot 1 \cdot 1,122 \cdot 10^4) \cdot (100 \cdot (20 - 0,8) / 5800)^{2,5}} = 0,04383 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 58,5 \cdot (20 - 0,8)}{5800 + 20 - 0,8} = 0,386 \text{ МПа}$$

0,04355 МПа  $\geq$  0,01000 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_n}{[F]_e} \right)^2}} = \frac{2053}{(1 + (2053 / 4252)^2)^{1/2}} = 1849 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_n}{[M]_e} \right)^2}} = \frac{2977}{(1 + (2977 / 7046)^2)^{1/2}} = 2743 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_n}{[Q]_e} \right)^2}} = \frac{511,7}{(1 + (511,7 / 1047)^2)^{1/2}} = 459,7 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	26.10.16		
Изм.	Лист	№ документа	Подпись
1	Зам.	1209-16	25.10.16
16017-43/6-K01.001PP			
Лист			
37			

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,04355 + 66,03 / 1849 + 18,91 / 2743 + (2,71 / 459,7)^2 = 0,2722 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### 9.4. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

##### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p: 0,05900 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 8,929 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 1,317 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 25,57 тс

##### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p} + c = (0,05900 \cdot 5800) / (2 \cdot 210 \cdot 1 - 0,05900) + 0,8 = 1,615 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 210 \cdot 1 \cdot (20 - 0,8) / (5800 + 20 - 0,8) = 1,386 \text{ МПа}$$

$$1,386 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 7371 / (1 + (7371 / 7306)^2)^{1/2} = 5189 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_E} \right)^2}} = 1,069 \cdot 10^4 / (1 + (1,069 \cdot 10^4 / 1,211 \cdot 10^4)^2)^{1/2} = 8012 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата
Инов. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	26.10.16
Инов. № подл.	31

1	Зам.	1209-16	Подпись	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

38

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1837 / (1 + (1837 / 1798)^2)^{1/2} = 1285 \text{ тс}$$

#### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 25,57 / 5189 + 8,929 / 8012 + (1,317 / 1285)^2 = 0,006044 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 20 - 0,8) \cdot (20 - 0,8) \cdot 210 \cdot 1 = 7371 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,05900 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 7371 + 8,929 / 1,069 \cdot 10^4 = 0,02198 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### 9.5. Расчёт в условиях монтажа

#### Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T:	20 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	16,42 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	2,515 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	68,02 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot (20 - 0,8) / (5800 + 20 - 0,8) = 1,512 \text{ МПа}$$

$$1,512 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	26.06.10.16			

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
1	Зам.	1209-16	Сут	25.10.16

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
39

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 8041 / (1 + (8041 / 7306)^2)^{1/2} = 5407 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1,166 \cdot 10^4 / (1 + (1,166 \cdot 10^4 / 1,211 \cdot 10^4)^2)^{1/2} = 8398 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2004 / (1 + (2004 / 1798)^2)^{1/2} = 1338 \text{ тс}$$

### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 68,02 / 5407 + 16,42 / 8398 + (2,515 / 1338)^2 = 0,01454 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
31	31 26.10.16			

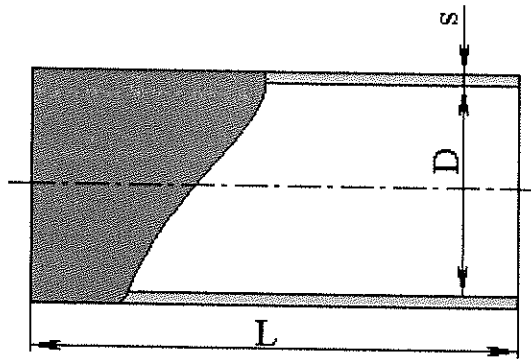
1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись Дата

**16017-43/6-K01.001PP**

Лист  
40



## 10. Расчет обечайки поз. 37



### 10.1. Исходные данные

Материал:	08X18H10
Внутр. диаметр, D:	5800 мм
Толщина стенки, s:	12 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c <sub>1</sub> :	0 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c <sub>2</sub> :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	0,8 мм
Длина обечайки, L:	2700 мм

### 10.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	580 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,02000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	16,16 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	2,515 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	46,93 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 5800) / (2 \cdot 58,5 \cdot 1 - 0,02000) + 0,8 = 1,792 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) / (5800 + 12 - 0,8) = 0,2255 \text{ МПа}$$

0,2255 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Взам. ине. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата
37	26.10.16					

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист

41

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1196 / (1 + (1196 / 1105)^2)^{1/2} = 811,7 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1734 / (1 + (1734 / 1831)^2)^{1/2} = 1259 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 298,5 / (1 + (298,5 / 353,7)^2)^{1/2} = 228,1 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 46,93 / 811,7 + 16,16 / 1259 + (2,515 / 228,1)^2 = 0,07078 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)**

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 12 - 0,8) \cdot (12 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 = 1196 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 1196 + 16,16 / 1734 = 0,05350 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### 10.3. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, T: 580 °C

Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,01000 МПа

Инв. № подл.	Подпись и дата	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №
31	26.10.16			

1	Зам.	1209-16	С.П.С.	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

42

Расчётный изгибающий момент, М: 16,16 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 2,515 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 46,93 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

l<sub>p</sub> = 1,122 · 10<sup>4</sup> мм

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок :

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \left\{ 1,06 \cdot 10^{-2} \cdot 5800 / 1 \cdot (0,01000 / (10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5))^{\cdot} \cdot \frac{1,122 \cdot 10^4 / 5800)^{0,4}; 1,2 \cdot 0,01000 \cdot 5800 / (2 \cdot 58,5 - 0,01000)}{0,01000} \right\} = 11,44 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot 5800 / (2,4 \cdot 1 \cdot 1,122 \cdot 10^4)}{(100 \cdot (12 - 0,8) / 5800)^{2,5}} = 0,01139 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 58,5 \cdot (12 - 0,8)}{5800 + 12 - 0,8} = 0,2255 \text{ МПа}$$

0,01138 МПа ≥ 0,01000 МПа

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_n}{[F]_e} \right)^2}} = \frac{1196}{(1 + (1196 / 1105)^2)^{1/2}} = 811,7 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_n}{[M]_e} \right)^2}} = \frac{1734}{(1 + (1734 / 1831)^2)^{1/2}} = 1259 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_n}{[Q]_e} \right)^2}} = \frac{298,5}{(1 + (298,5 / 353,7)^2)^{1/2}} = 228,1 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	26.10.16		

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист

43

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,01138 + 46,93 / 811,7 + 16,16 / 1259 + (2,515 / 228,1)^2 = 0,9497 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### 10.4. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

##### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p: 0,05900 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 7,602 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 1,208 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 22,66 тс

##### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e20} / n_T = 1 * 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,05900 * 5800) / (2 * 210 * 1 - 0,05900) + 0,8 = 1,615 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 * 210 * 1 * (12 - 0,8) / (5800 + 12 - 0,8) = 0,8095 \text{ МПа}$$

$$0,8095 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}} \right)^2}} = 4294 / (1 + (4294 / 1899)^2)^{1/2} = 1736 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 6226 / (1 + (6226 / 3146)^2)^{1/2} = 2808 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Ине. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата
38	28.06.10.16			

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист

44

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{п}}}{[Q]_{\text{в}}}\right)^2}} = 1071 / (1 + (1071 / 607,8)^2)^{1/2} = 528,7 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 22,66 / 1736 + 7,602 / 2808 + (1,208 / 528,7)^2 = 0,01576 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)**

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 12 - 0,8) \cdot (12 - 0,8) \cdot 210 \cdot 1 = 4294 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,05900 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 4294 + 7,602 / 6226 = 0,03752 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

**10.5. Расчёт в условиях монтажа**

**Условия нагружения при монтаже:**

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 13,88 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 2,319 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 48,92 тс

**Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) / (5800 + 12 - 0,8) = 0,8831 \text{ МПа}$$

$$0,8831 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Ине. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Ине. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата
Ине. № подл.	Подпись и дата

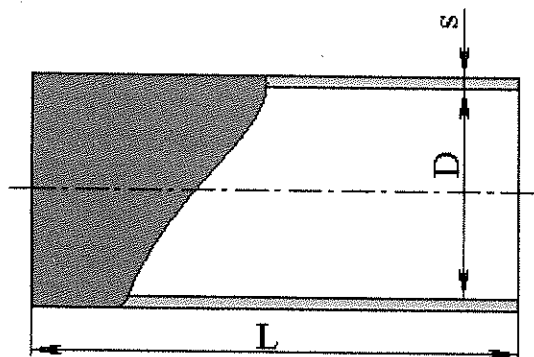
1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
45



## 11. Расчет обечайки поз. 35.



### 11.1. Исходные данные

Материал:	08X18H10
Внутр. диаметр, D:	5800 мм
Толщина стенки, s:	20 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c <sub>1</sub> :	0 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c <sub>2</sub> :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	0,8 мм
Длина обечайки, L:	1100 мм

### 11.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	580 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,02000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	9,941 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	2,069 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	40,01 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 5800) / (2 \cdot 58,5 \cdot 1 - 0,02000) + 0,8 = 1,792 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (20 - 0,8) / (5800 + 20 - 0,8) = 0,386 \text{ МПа}$$

0,386 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата
31						

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

47

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2053 / (1 + (2053 / 4252)^2)^{1/2} = 1849 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2977 / (1 + (2977 / 7046)^2)^{1/2} = 2743 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 511,7 / (1 + (511,7 / 1047)^2)^{1/2} = 459,7 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 40,01 / 1849 + 9,941 / 2743 + (2,069 / 459,7)^2 = 0,02529 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

**Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)**

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 20 - 0,8) \cdot (20 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 = 2053 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 2053 + 9,941 / 2977 = 0,02907 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### 11.3. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, Т: 580 °С

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	З.В. З.В. 10.16					

1	Зам.	1209-16	С.В.	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		48





Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,04355 + 40,01 / 1849 + 9,941 / 2743 + (2,069 / 459,7)^2 = 0,2549 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### 11.4. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

##### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p: 0,05900 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 4,614 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0,9811 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 18,02 тс

##### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,05900 \cdot 5800) / (2 \cdot 210 \cdot 1 - 0,05900) + 0,8 = 1,615 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 210 \cdot 1 \cdot (20 - 0,8) / (5800 + 20 - 0,8) = 1,386 \text{ МПа}$$

$$1,386 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}} \right)^2}} = 7371 / (1 + (7371 / 7306)^2)^{1/2} = 5189 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 1,069 \cdot 10^4 / (1 + (1,069 \cdot 10^4 / 1,211 \cdot 10^4)^2)^{1/2} = 8012 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Ине. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	
Ине. № дубл.	
Подпись и дата	26.10.16

1	Зам.	1209-16	С/Б	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
50

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{н}}}{[Q]_{\text{в}}}\right)^2}} = 1837 / (1 + (1837 / 1798)^2)^{1/2} = 1285 \text{ тс}$$

#### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 18,02 / 5189 + 4,614 / 8012 + (0,9811 / 1285)^2 = 0,004050 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 20 - 0,8) \cdot (20 - 0,8) \cdot 210 \cdot 1 = 7371 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,05900 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 7371 + 4,614 / 1,069 \cdot 10^4 = 0,02158 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### 11.5. Расчёт в условиях монтажа

#### Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T:	20 °С
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	8,184 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	1,872 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	42 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °С :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot (20 - 0,8) / (5800 + 20 - 0,8) = 1,512 \text{ МПа}$$

$$1,512 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Ине. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Ине. № дубл.
Подпись и дата	Подпись и дата
Ине. № подл.	Подпись и дата

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

51

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 8041 / (1 + (8041 / 7306)^2)^{1/2} = 5407 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1,166 \cdot 10^4 / (1 + (1,166 \cdot 10^4 / 1,211 \cdot 10^4)^2)^{1/2} = 8398 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2004 / (1 + (2004 / 1798)^2)^{1/2} = 1338 \text{ тс}$$

### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 42 / 5407 + 8,184 / 8398 + (1,872 / 1338)^2 = 0,008745 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

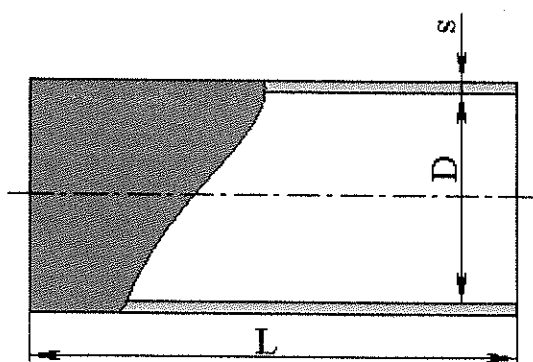
Изн. № подл.	Подпись и дата	Изн. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
81	30.06.10.16			

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист 52

## 12. Расчет обечайки поз. 36



### 12.1. Исходные данные

Материал:	08X18H10
Внутр. диаметр, D:	5800 мм
Толщина стенки, s:	12 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c <sub>1</sub> :	0 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c <sub>2</sub> :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	0,8 мм
Длина обечайки, L:	2100 мм

### 12.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	580 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,02000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	7,813 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	1,804 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	26,79 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 5800) / (2 \cdot 58,5 \cdot 1 - 0,02000) + 0,8 = 1,792 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) / (5800 + 12 - 0,8) = 0,2255 \text{ МПа}$$

0,2255 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
21	26.10.16					

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

53

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{н}}}{[F]_{\text{в}}}\right)^2}} = 1196 / (1 + (1196 / 1105)^2)^{1/2} = 811,7 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{н}}}{[M]_{\text{в}}}\right)^2}} = 1734 / (1 + (1734 / 1831)^2)^{1/2} = 1259 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{н}}}{[Q]_{\text{в}}}\right)^2}} = 298,5 / (1 + (298,5 / 353,7)^2)^{1/2} = 228,1 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 26,79 / 811,7 + 7,813 / 1259 + (1,804 / 228,1)^2 = 0,03928 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)**

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - e) \cdot (s - e) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 12 - 0,8) \cdot (12 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 = 1196 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 1196 + 7,813 / 1734 = 0,04868 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

## 12.3. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, Т: 580 °С

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подпись и дата	Име. № подл.
31	26.10.16						

1	Зам.	1209-16	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	54

Расчётное наружное избыточное давление, р: 0,01000 МПа

Расчётный изгибающий момент, М: 7,813 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: 1,804 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 26,79 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

l<sub>p</sub> = 1,122 · 10<sup>4</sup> мм

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок :

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot 5800}{1} \cdot \left( \frac{0,01000}{(10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5)} \cdot \frac{1}{5800} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot 0,01000 \cdot 5800}{2 \cdot 58,5 - 0,01000} \right\} = 11,44 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_u = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot 5800}{0,8 / 5800} \cdot \frac{1}{2,4 \cdot 1 \cdot 1,122 \cdot 10^4} \cdot \left( \frac{100 \cdot (12 - 0,8)}{5800} \right)^{2,5} = 0,01139 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 58,5 \cdot (12 - 0,8)}{5800 + 12 - 0,8} = 0,2255 \text{ МПа}$$

0,01138 МПа ≥ 0,01000 МПа

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_n}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{1196}{(1 + (1196 / 1105)^2)^{1/2}} = 811,7 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_n}{[M]_E} \right)^2}} = \frac{1734}{(1 + (1734 / 1831)^2)^{1/2}} = 1259 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_n}{[Q]_E} \right)^2}} = \frac{298,5}{(1 + (298,5 / 353,7)^2)^{1/2}} = 228,1 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Ине. № дубл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Подпись и дата
Ине. № подл.	Подпись и дата

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
55

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,01138 + 26,79 / 811,7 + 7,813 / 1259 + (1,804 / 228,1)^2 = 0,9182 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### 12.4. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

##### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p: 0,05900 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 3,615 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0,8332 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 14,95 тс

##### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,05900 \cdot 5800) / (2 \cdot 210 \cdot 1 - 0,05900) + 0,8 = 1,615 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 210 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) / (5800 + 12 - 0,8) = 0,8095 \text{ МПа}$$

$$0,8095 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}} \right)^2}} = 4294 / (1 + (4294 / 1899)^2)^{1/2} = 1736 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 6226 / (1 + (6226 / 3146)^2)^{1/2} = 2808 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Име. № подл.	Подпись и дата
Име. № дубл.	
Взам. име. №	
Подпись и дата	26.10.16
Име. № подл.	31

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
56



Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1071 / (1 + (1071 / 607,8)^2)^{1/2} = 528,7 \text{ тс}$$

#### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 14,95 / 1736 + 3,615 / 2808 + (0,8332 / 528,7)^2 = 0,009897 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 12 - 0,8) \cdot (12 - 0,8) \cdot 210 \cdot 1 = 4294 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,05900 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 4294 + 3,615 / 6226 = 0,03688 \leq 1$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

### 12.5. Расчёт в условиях монтажа

#### Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T:	20 °С
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	6,269 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	1,607 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	28,78 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °С :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) / (5800 + 12 - 0,8) = 0,8831 \text{ МПа}$$

$$0,8831 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №
38	30.06.10.16		

1	Зам.	1209-16	Силь	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

57

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 4684 / (1 + (4684 / 1899)^2)^{1/2} = 1760 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 6792 / (1 + (6792 / 3146)^2)^{1/2} = 2855 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1169 / (1 + (1169 / 607,8)^2)^{1/2} = 539,3 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 28,78 / 1760 + 6,269 / 2855 + (1,607 / 539,3)^2 = 0,01856 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
31	26.10.16			

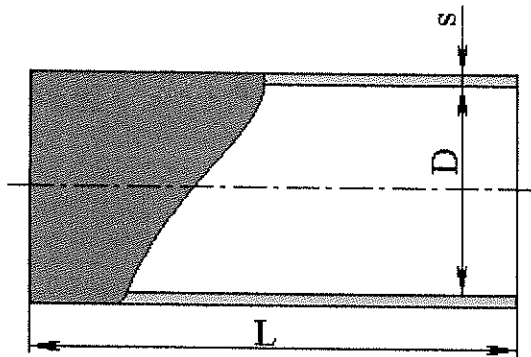
1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

58

### 13. Расчет обечайки поз. 35



#### 13.1. Исходные данные

Материал:	08X18H10
Внутр. диаметр, D:	5800 мм
Толщина стенки, s:	20 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c <sub>1</sub> :	0 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c <sub>2</sub> :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	0,8 мм
Длина обечайки, L:	1100 мм

#### 13.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

##### Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	580 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,02000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	4,446 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	1,38 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	21,4 тс

##### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 5800) / (2 \cdot 58,5 \cdot 1 - 0,02000) + 0,8 = 1,792 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (20 - 0,8) / (5800 + 20 - 0,8) = 0,386 \text{ МПа}$$

0,386 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Ине. № подл.	Подпись и дата
Ине. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	25.10.16
Ине. № подл.	21

1	Зам.	1209-16	С/б	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

59

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{н}}}{[F]_{\text{е}}}\right)^2}} = 2053 / (1 + (2053 / 4252)^2)^{1/2} = 1849 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{н}}}{[M]_{\text{е}}}\right)^2}} = 2977 / (1 + (2977 / 7046)^2)^{1/2} = 2743 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{н}}}{[Q]_{\text{е}}}\right)^2}} = 511,7 / (1 + (511,7 / 1047)^2)^{1/2} = 459,7 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 21,4/1849 + 4,446/2743 + (1,38/459,7)^2 = 0,01321 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)**

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 20 - 0,8) \cdot (20 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 = 2053 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 2053 + 4,446 / 2977 = 0,02723 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### 13.3. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, T: 580 °C

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	30.06.10.16					

1	Зам.	1209-16	30.06.10.16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

60

Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,01000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 4,446 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: 1,38 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 21,4 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5$  МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

$E = 1,552 \cdot 10^5$  МПа

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$l_p = 1,122 \cdot 10^4$  мм

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок :

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \{ 1,06 \cdot 10^{-2} \cdot 5800 / 1 \cdot (0,01000 / (10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5))^{0,4}; 1,2 \cdot 0,01000 \cdot 5800 / (2 \cdot 58,5 - 0,01000) \} + 0,8 = 11,44 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_u = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot 5800}{2,4 \cdot 1 \cdot 1,122 \cdot 10^4} \cdot (100 \cdot (20 - 0,8) / 5800)^{2,5} = 0,04383 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 58,5 \cdot (20 - 0,8)}{5800 + 20 - 0,8} = 0,386 \text{ МПа}$$

0,04355 МПа  $\geq$  0,01000 МПа

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_n}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{2053}{(1 + (2053 / 4252)^2)^{1/2}} = 1849 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_n}{[M]_E} \right)^2}} = \frac{2977}{(1 + (2977 / 7046)^2)^{1/2}} = 2743 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_n}{[Q]_E} \right)^2}} = \frac{511,7}{(1 + (511,7 / 1047)^2)^{1/2}} = 459,7 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	26.10.16			

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

61

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,04355 + 21,4 / 1849 + 4,446 / 2743 + (1,38 / 459,7)^2 = 0,2428 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### 13.4. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

##### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p: 0,05900 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 2,063 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0,6182 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 11,33 тс

##### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,05900 \cdot 5800) / (2 \cdot 210 \cdot 1 - 0,05900) + 0,8 = 1,615 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 210 \cdot 1 \cdot (20 - 0,8) / (5800 + 20 - 0,8) = 1,386 \text{ МПа}$$

$$1,386 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\pi}}{[F]_{\text{E}}} \right)^2}} = 7371 / (1 + (7371 / 7306)^2)^{1/2} = 5189 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 1,069 \cdot 10^4 / (1 + (1,069 \cdot 10^4 / 1,211 \cdot 10^4)^2)^{1/2} = 8012 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	26.10.16		

1	Зам.	1209-16	С/Б	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

62

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1837 / (1 + (1837 / 1798)^2)^{1/2} = 1285 \text{ тс}$$

#### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 11,33/5189 + 2,063/8012 + (0,6182/1285)^2 = 0,002442 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 20 - 0,8) \cdot (20 - 0,8) \cdot 210 \cdot 1 = 7371 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,05900 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 7371 + 2,063 / 1,069 \cdot 10^4 = 0,02134 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### 13.5. Расчёт в условиях монтажа

#### Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 3,308 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 1,182 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 23,39 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot (20 - 0,8) / (5800 + 20 - 0,8) = 1,512 \text{ МПа}$$

$$1,512 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
31	30.06.10.16			

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

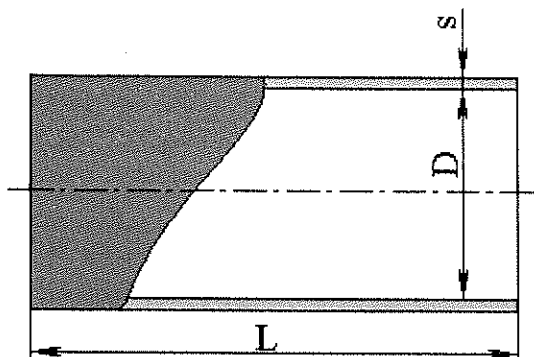
Лист

63





## 14. Расчет обечайки поз. 34



### 14.1. Исходные данные

Материал:	08X18H10
Внутр. диаметр, D:	5800 мм
Толщина стенки, s:	12 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c <sub>1</sub> :	0 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c <sub>2</sub> :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	0,8 мм
Длина обечайки, L:	1650 мм

### 14.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	580 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,02000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	3,106 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	1,064 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	8,185 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 5800) / (2 \cdot 58,5 \cdot 1 - 0,02000) + 0,8 = 1,792 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) / (5800 + 12 - 0,8) = 0,2255 \text{ МПа}$$

0,2255 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. име. №	Подпись и дата
31	30.06.10.16				

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

65

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1196 / (1 + (1196 / 1105)^2)^{1/2} = 811,7 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1734 / (1 + (1734 / 1831)^2)^{1/2} = 1259 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 298,5 / (1 + (298,5 / 353,7)^2)^{1/2} = 228,1 \text{ тс}$$

#### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 8,185 / 811,7 + 3,106 / 1259 + (1,064 / 228,1)^2 = 0,01257 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 12 - 0,8) \cdot (12 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 = 1196 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 1196 + 3,106 / 1734 = 0,04597 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

### 14.3. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 580 °C

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	1	Зам.	1209-16	Подпись	Дата	16017-43/6-K01.001PP	Лист
											66

Расчётное наружное избыточное давление, р: 0,01000 МПа

Расчётный изгибающий момент, М: 3,106 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: 1,064 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 8,185 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5$  МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E =  $1,552 \cdot 10^5$  МПа

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$l_p = 1,122 \cdot 10^4$  мм

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок :

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \left\{ \frac{1,06 \cdot 10^{-2} \cdot 5800}{1 \cdot (0,01000 / (10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5))} \cdot \frac{1}{5800}; \frac{1,2 \cdot 0,01000 \cdot 5800}{2 \cdot 58,5 - 0,01000} \right\} = 11,44 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot 5800}{(2,4 \cdot 1 \cdot 1,122 \cdot 10^4) \cdot (100 \cdot (12 - 0,8) / 5800)^{2,5}} = 0,01139 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 58,5 \cdot (12 - 0,8)}{5800 + 12 - 0,8} = 0,2255 \text{ МПа}$$

0,01138 МПа  $\geq$  0,01000 МПа

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_n}{[F]_e} \right)^2}} = \frac{1196}{(1 + (1196 / 1105)^2)^{1/2}} = 811,7 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_n}{[M]_e} \right)^2}} = \frac{1734}{(1 + (1734 / 1831)^2)^{1/2}} = 1259 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_n}{[Q]_e} \right)^2}} = \frac{298,5}{(1 + (298,5 / 353,7)^2)^{1/2}} = 228,1 \text{ тс}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
31	31.06.10.16			

И	Зам.	1209-16	31.06.10.16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

67

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,01138 + 8,185 / 811,7 + 3,106 / 1259 + (1,064 / 228,1)^2 = 0,8915 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### 14.4. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

##### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p: 0,05900 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 1,479 тс м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0,4417 тс  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 8,256 тс

##### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p} + c = (0,05900 * 5800) / (2 * 210 * 1 - 0,05900) + 0,8 = 1,615 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 * 210 * 1 * (12 - 0,8) / (5800 + 12 - 0,8) = 0,8095 \text{ МПа}$$

$$0,8095 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

**Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}} \right)^2}} = 4294 / (1 + (4294 / 1899)^2)^{1/2} = 1736 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 6226 / (1 + (6226 / 3146)^2)^{1/2} = 2808 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,122 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Име. № подл.	Изм. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
31			31.06.10.16

1	Зам.	1209-16	31.06.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

68

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{н}}}{[Q]_{\text{в}}}\right)^2}} = 1071 / (1 + (1071 / 607,8)^2)^{1/2} = 528,7 \text{ тс}$$

#### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 8,256 / 1736 + 1,479 / 2808 + (0,4417 / 528,7)^2 = 0,005282 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

#### Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5800 + 12 - 0,8) \cdot (12 - 0,8) \cdot 210 \cdot 1 = 4294 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,05900 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 4294 + 1,479 / 6226 = 0,03654 \leq 1$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

### 14.5. Расчёт в условиях монтажа

#### Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T:	20	°C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0	МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	2,18	тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	0,8659	тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	10,18	тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) / (5800 + 12 - 0,8) = 0,8831 \text{ МПа}$$

$$0,8831 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	28.10.16			

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист

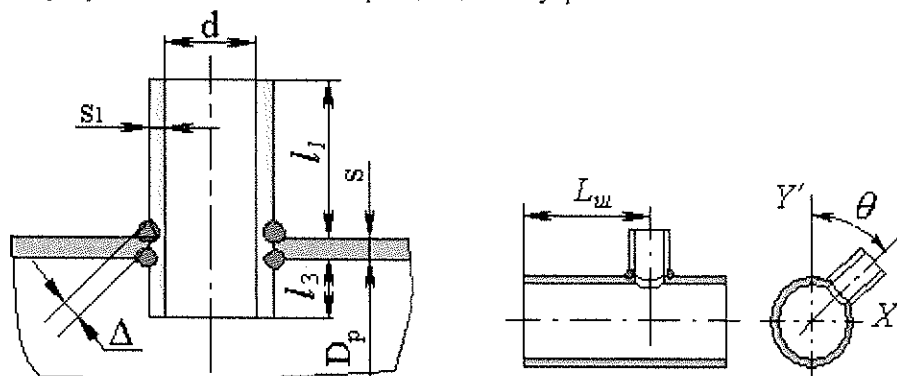
69



# 15. Расчет люка М1, М2 и М3.

## 15.1. Исходные данные

Элемент: Люк М1, М2 и М3.  
 Элемент, несущий штуцер: Обечайка поз. 34  
 Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая  
 Тип штуцера: Проходящий без укрепления



Материал несущего элемента: 08X18H10  
 Толщина стенки несущего элемента, s: 12 мм  
 Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 0,8 мм  
 Материал штуцера: 08X18H10  
 Внутренний диаметр штуцера, d: 600 мм  
 Толщина стенки штуцера, s1: 10 мм  
 Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), cс: 0,8 мм  
 Длина штуцера, l1: 95 мм  
 Смещение штуцера, Lш: 600 мм  
 Угол поворота штуцера, θ: 270 °  
 Длина внутр. части штуцера, l3: 0 мм  
 Прибавка на коррозию, cс1: 0 мм  
 Минимальный размер сварного шва, Δ: 10 мм

## 15.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 580 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,02000 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости при температуре 580 °C :

E = 1,552·10<sup>5</sup> МПа

Име. № подл.	Подпись и дата
Име. № дубл.	Име. № дубл.
Взам. инв. №	Взам. инв. №
Подпись и дата	Подпись и дата
Име. № подл.	Име. № подл.

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
71

### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma]_1 = 58,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре  $580^\circ\text{C}$ :

$$E_1 = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (10 - 0,8) / (600 + 10 + 0,8) = 1,762 \text{ МПа}$$

$$1,762 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 600 + 2 \cdot 0,8 = 601,6 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((12 - 0,8) / 0,9916 - 0,8) \cdot (5800 \cdot (12 - 0,8))^{1/2} = 5350 \text{ мм}$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \phi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) \cdot 1 \cdot 58,5 \cdot 0,644 / [5800 + (12 - 0,8) \cdot 0,644] = 0,1453 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = 0,1453 \text{ МПа}$

$$0,1453 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (601,6 - 101,9) \cdot 0,9916 = 247,7 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \\ = 92,99 \cdot (10 - 0,1029 - 0,8) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0,8 - 0) \cdot 1 + 254,9 \cdot (12 - 0,9916 - 0,8) \\ = 3448 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 247,7 \text{ мм}^2 \leq 3448 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок по ГОСТ Р 52857.3-2007

Условие прочности:  $\Phi_p \leq 1$

$$0,1376 \leq 1,0. \text{ Условие прочности выполнено}$$

Условие прочности:  $\Phi_x \leq 1$

$$0 \leq 1,0. \text{ Условие прочности выполнено}$$

Условие прочности:  $\Phi_b \leq 1$

$$0,04208 \leq 1,0. \text{ Условие прочности выполнено}$$

$$\text{Условие прочности: } \sqrt{\left[ \max \left( \left| \frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_x \right|, \left| \Phi_x \right|, \left| \frac{\Phi_p}{C_4} - 0,2 \cdot \Phi_x \right| \right) \right]^2 + \Phi_b^2} \leq 1$$

$$0,1439 \leq 1,0. \text{ Условие прочности выполнено}$$

Условие прочности:  $\sigma_1 \leq [\sigma]_1$

$$0,5716 \text{ МПа} \leq 58,5 \text{ МПа. Условие прочности выполнено}$$

$$\text{Условие устойчивости штуцера: } \frac{|p|}{[p]} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{|F_x|}{[F]} \leq 1,0$$

$$0,004182 \leq 1,0. \text{ Условие устойчивости выполнено}$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Име. № подл.
31	30.06.10.16				
1	Зам.	1209-16	Спб	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Лист
					72



### 15.3. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 580 °С

Расчётное наружное избыточное давление, р: 0,01000 МПа

#### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

##### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 08Х18Н10 при температуре Т = 580 °С (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5$  МПа

Модуль продольной упругости при температуре 580 °С :

$E = 1,552 \cdot 10^5$  МПа

##### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 08Х18Н10 при температуре Т = 580 °С (рабочие условия):

$[\sigma]_1 = 58,5$  МПа

Модуль продольной упругости при температуре 580 °С :

$E_1 = 1,552 \cdot 10^5$  МПа

Допускаемое наружное давление для патрубка штуцера из условия устойчивости :

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} E_1}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{d}{l_1} \left[ \frac{100 \cdot (s_1 - c_s)}{d} \right]^{2,5} = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot 600}{(2,4 \cdot 1 \cdot 95) \cdot (100 \cdot (10 - 0,8) / 600)}^{2,5} = 24,73 \text{ МПа}$$

1,762 МПа  $\geq$  0,01000 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 600 + 2 \cdot 0,8 = 601,6 \text{ мм}$$

$$[p]_F = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 0,644 / [5800 + (12 - 0,8) \cdot 0,644] = 0,1453 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление :

$$[p] = \frac{[p]_F}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_F}{[p]_E} \right)^2}} = 0,1453 / (1 + (0,1453 / 0,01139)^2)^{1/2} = 0,01136 \text{ МПа}$$

где  $[p]_E$  – допускаемое наружное давление в пределах упругости для элемента, несущего штуцер (см. расчёт элемента “Обечайка поз. 34”)

Допускаемое давление  $[p] = 0,01136$  МПа

0,01136 МПа  $\geq$  0,01000 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

#### Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок по ГОСТ Р 52857.3-2007

Условие прочности:  $\Phi_p \leq 1$

0,8805  $\leq$  1,0. Условие прочности выполнено

Условие прочности:  $\Phi_x \leq 1$

0  $\leq$  1,0. Условие прочности выполнено

Условие прочности:  $\Phi_b \leq 1$

0,04208  $\leq$  1,0. Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата
Име. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	26.10.16
Име. № подл.	31

1	Зам.	1209-16	С/б	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

73

$$\text{Условие прочности: } \sqrt{\left[ \max \left( \left| \frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z \right|, \left| \Phi_z \right|, \left| \frac{\Phi_p}{C_4} - 0.2 \cdot \Phi_z \right| \right) \right]^2 + \Phi_0^2} \leq 1$$

0,8815 ≤ 1.0. Условие прочности выполнено

$$\text{Условие прочности: } \sigma_1 \leq [\sigma]_1$$

0,07431 МПа ≤ 58,5 МПа. Условие прочности выполнено

$$\text{Условие устойчивости штуцера: } \frac{|p|}{[p]} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{|F_z|}{[F]} \leq 1.0$$

0,009856 ≤ 1.0. Условие устойчивости выполнено

#### 15.4. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

##### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,05900 МПа

##### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

###### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °C :

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

###### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_1 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °C :

$$E_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = \frac{2 \cdot 210 \cdot 1 \cdot (10 - 0,8)}{600 + 10 + 0,8} = 6,326 \text{ МПа}$$

$$6,326 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 600 + 2 \cdot 0,8 = 601,6 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления :

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((12 - 0,8) / 0,8149 - 0,8) \cdot (5800 \cdot (12 - 0,8))^{1/2} = 6598 \text{ мм}$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \phi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = \frac{2 \cdot 1 \cdot (12 - 0,8) \cdot 1 \cdot 210 \cdot 0,644}{5800 + (12 - 0,8) \cdot 0,644} = 0,5217 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление [p] = 0,5217 МПа

$$0,5217 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Площадь, необходимая для укрепления отверстия :

$$A_T = 0,5 (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (601,6 - 101,9) \cdot 0,8149 = 203,6 \text{ мм}^2$$

Име. № подл.	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
39			26.10.16

1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
74

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c)$$

$$= 92,99 \cdot (10 - 0,08452 - 0,8) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 0,8 - 0) \cdot 1 + 254,9 \cdot (12 - 0,8149 - 0,8)$$

$$= 3495 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 203,6 \text{ мм}^2 \leq 3495 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок по ГОСТ Р 52857.3-2007

Условие прочности:  $\Phi_p \leq 1$

0,1131 ≤ 1.0. Условие прочности выполнено

Условие прочности:  $\Phi_z \leq 1$

0 ≤ 1.0. Условие прочности выполнено

Условие прочности:  $\Phi_b \leq 1$

0,01172 ≤ 1.0. Условие прочности выполнено

$$\text{Условие прочности: } \sqrt{\left[ \max \left( \left| \frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z \right|, \left| \Phi_z \right|, \left| \frac{\Phi_p}{C_4} - 0,2 \cdot \Phi_z \right| \right) \right]^2 + \Phi_b^2} \leq 1$$

0,1137 ≤ 1.0. Условие прочности выполнено

Условие прочности:  $\sigma_1 \leq [\sigma]_1$

1,218 МПа ≤ 210 МПа. Условие прочности выполнено

$$\text{Условие устойчивости шуцера: } \frac{|p|}{[p]} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{|F_z|}{[F]} \leq 1,0$$

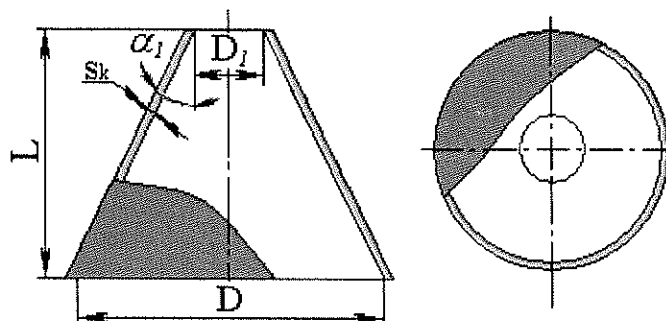
0,001168 ≤ 1.0. Условие устойчивости выполнено

Инв. № подл. 3-1	Подпись и дата 8.6.10.16	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					
1	Зам.	1209-16			16017-43/6-K01.001PP				
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата					

Лист

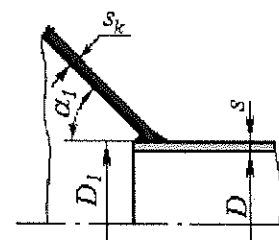
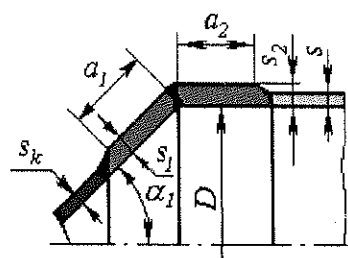
75

## 16. Расчет конуса поз. 44 и поз. 46.



### 16.1. Исходные данные

Материал обечайки: 08X18H10  
 Диаметр большого основания, D: 5800 мм  
 Диаметр меньшего основания, D<sub>1</sub>: 1020 мм  
 Толщина стенки, s<sub>k</sub>: 14 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c<sub>1</sub>: 0 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска, c<sub>2</sub>: 0,8 мм  
 Прибавка технологическая, c<sub>3</sub>: 0 мм  
 Сумма прибавок, c: 0,8 мм  
 Длина обечайки, L: 875 мм  
 Смещение левого основания по горизонтали, X<sub>0</sub>: 0 мм  
 Смещение левого основания по вертикали, Y<sub>0</sub>: 0 мм  
**Левый (нижний) узел соединения:**  
 Соединение конической и цилиндрической обечайек



Параметры узла соединения :

Материал элемента s<sub>1</sub>: 08X18H10  
 Материал элемента s<sub>2</sub>: 08X18H10  
 Толщина стенки вставки, s<sub>1</sub>: 20 мм  
 Толщина стенки вставки, s<sub>2</sub>: 20 мм  
 Длина участка вставки, a<sub>1</sub>: 400 мм  
 Длина участка вставки, a<sub>2</sub>: 300 мм

**Правый (верхний) узел соединения:**

Соединение конической обечайки с цилиндрической меньшего диаметра без укрепления

### 16.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, T: 580 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,02000 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 0,4334 тс м  
 Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 1,725 тс

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
37	26.10.16			

1	Зам.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист  
76

## Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$ :

$E = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (14 - 0,8) / (5276 / \cos(69,89) + 14 - 0,8) = 0,1005 \text{ МПа}$$

$0,1005 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 1020 / 4 \cdot 3,142 \cdot 1020 \cdot (14 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot \cos(69,89) = 21,69 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{н}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 1,548 \cdot 10^4 / 4 \cdot 3,142 \cdot 1,548 \cdot 10^4 \cdot (14 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot \cos(69,89) = 4997 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 1,548 \cdot 10^4 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot (1,548 \cdot 10^4 \cdot \cos(69,89))^2 / 2,4 \cdot (100 \cdot (14 - 0,8) / 1,548 \cdot 10^4)^{2,5} = 533,2 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{пр}}; [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 21,69; 533,2 \} = 21,69 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: 
$$\left( \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1 \right)$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (1,725 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 1020^2 / 4) / 85,07 + 0,4334 / 21,69 = 0,05947 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

## 16.3. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

### Условия нагружения:

Расчётная температура,  $T$ :  $580^\circ\text{C}$

Расчётное внутреннее избыточное давление,  $p$ :  $0,02000 \text{ МПа}$

Расчётный изгибающий момент,  $M$ :  $0,7486 \text{ тс м}$

Расчётное осевое сжимающее усилие,  $F$ :  $3,064 \text{ тс}$

## Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$ :

$E = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Подпись и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата		Инв. № подл.		Лист	
						26.10.16		37		16017-43/6-K01.001PP	77
1	Зам.	1209-16	Суб	25.10.16							
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата							

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (14 - 0,8) / (5276 / \cos(69,89) + 14 - 0,8) = 0,1005 \text{ МПа}$$

0,1005 МПа  $\geq$  0,02000 МПа

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5800 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5800 \cdot (14 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot \cos(69,89) = 701,4 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{л}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 1,687 \cdot 10^4 / 4 \cdot 1,687 \cdot 10^4 \cdot (14 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot \cos(69,89) = 5934 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 1,687 \cdot 10^4 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot (1,687 \cdot 10^4 \cdot \cos(69,89))^2 / 2,4 \cdot (100 \cdot (14 - 0,8) / 1,687 \cdot 10^4)^{2,5} = 556,6 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{пр}} ; [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 701,4 ; 554,2 \} = 554,2 \text{ тс м}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 / 0 + 3,064 / 115,1 + 0,7486 / 554,2 = 0,02798 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\left( \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1 \right)$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 483,7 + 0,7486 / 701,4 = 0,1103 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

**Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:**

**Свойства материала элемента s<sub>1</sub> (s<sub>T</sub>):**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$$[\sigma]_1 = 58,5 \text{ МПа}$$

**Свойства материала элемента s<sub>2</sub>:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$$[\sigma]_2 = 58,5 \text{ МПа}$$

$$0,05719 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. име. №	Име. № дубл.	Подпись и дата	Име. № подл.
31	31.06.10.16						

1	Зам.	1209-16	СГБ	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

78

Проверка условия прочности:  $\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,02000 / 0,05719 + 3,064 / 138,9| + 0,7486 / 201,4 = 0,3755 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

#### Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

##### Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$[\sigma]_k = 58,5$  МПа

##### Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$[\sigma]_s = 58,5$  МПа

0,2879 МПа  $\geq$  0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Проверка условия прочности:  $\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,02000 / 0,2879 + 1,725 / 26,17| + 0,4334 / 6,543 = 0,2016 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

## 16.4. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 580 °C

Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,01000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 0,7486 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 3,064 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

$[\sigma] = 58,5$  МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 * 58,5 * (14 - 0,8) / (5276 / \cos(69,89) + 14 - 0,8) = 0,1005 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_E = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D_E}{1_E} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_E} \right]^{2,5} = 2,08 * 10^{-5} * 1,552 \cdot 10^5 * 1,687 \cdot 10^4 / (2,4 * 1 * 2545) * (100 * (14 - 0,8) / 1,687 \cdot 10^4)^{2,5} = 0,01527 \text{ МПа}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	16017-43/6-K01.001PP	Лист
						79
34	30.06.2016					
I	Зам.	1209-16		25.10.16		
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{[p]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_n}{[p]_E}\right)^2}} = 0,1005 / (1 + (0,1005 / 0,01527)^2)^{1/2} = 0,01509 \text{ МПа}$$

0,01509 МПа  $\geq$  0,01000 МПа

Закключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{Ф}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5800 / 4 * 3,142 * 5800 * (14 - 0,8) * 58,5 * 1 * \cos(69,89) = 701,4 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{П}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 1,687 \cdot 10^4 / 4 * 1,687 \cdot 10^4 * (14 - 0,8) * 58,5 * \cos(69,89) = 5934 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 1,687 \cdot 10^4 / 3,5 * 310 * 10^{-6} * 1,552 \cdot 10^5 * (1,687 \cdot 10^4 * \cos(69,89))^2 / 2,4 * (100 * (14 - 0,8) / 1,687 \cdot 10^4)^{2,5} = 556,6 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ M_{\text{Ф}} ; M_{\text{П}} ; M_{\text{Е}} \} = \min \{ 701,4 ; 554,2 \} = 554,2 \text{ тс м}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0,01000 / 0,01509 + 3,064 / 115,1 + 0,7486 / 554,2 = 0,6905 \leq 1$$

Закключение: Условие устойчивости выполнено

**Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:**

**Свойства материала элемента  $s_1$  ( $s_T$ ):**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma]_1 = 58,5 \text{ МПа}$$

**Свойства материала элемента  $s_2$ :**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma]_2 = 58,5 \text{ МПа}$$

$$0,05719 \text{ МПа} \geq 0,01000 \text{ МПа}$$

Закключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Проверка условия прочности:  $\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |(-0,01000) / 0,05719 + 3,064 / 138,9| + 0,7486 / 201,4 = 0,1565 \leq 1$$

Закключение: Условие прочности выполнено

**Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:**

**Свойства материала несущей обечайки:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma]_k = 58,5 \text{ МПа}$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	31.08.10.16			
1	Нов.	1209-16	31.08.10.16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
16017-43/6-K01.001PP				
				Лист
				80



**Свойства материала соседнего элемента:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma]_s = 58,5 \text{ МПа}$$

$$0,2879 \text{ МПа} \geq 0,01000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Проверка условия прочности: 
$$\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |(-0,01000) / 0,2879 + 1,725 / 26,17| + 0,4334 / 6,543 = 0,09741 \leq 1$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

## 16.5. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

**Условия нагружения при испытаниях:**

Расчётная температура,  $T$ : 20  $^\circ\text{C}$   
 Расчётное внутреннее избыточное давление,  $p$ : 0,05900 МПа  
 Расчётный изгибающий момент,  $M$ : 0,09379 тс м  
 Расчётное осевое сжимающее усилие,  $F$ : 4,673 тс

**Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$ :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 210 \cdot 1 \cdot (14 - 0,8) / (5276 / \cos(69,89) + 14 - 0,8) = 0,3609 \text{ МПа}$$

$$0,3609 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5800 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5800 \cdot (14 - 0,8) \cdot 210 \cdot 1 \cdot \cos(69,89) = 2518 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{п}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 1,687 \cdot 10^4 / 4 \cdot 1,687 \cdot 10^4 \cdot (14 - 0,8) \cdot 210 \cdot \cos(69,89) = 2,13 \cdot 10^4 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 1,687 \cdot 10^4 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (1,687 \cdot 10^4 \cdot \cos(69,89))^2 / 1,8 \cdot (100 \cdot (14 - 0,8) / 1,687 \cdot 10^4)^{2,5} = 956,4 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ M_{\text{пр}}; M_{\text{уст}} \} = \min \{ 2518, 955,4 \} = 955,4 \text{ тс м}$$

**Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

Подпись и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата	26.06.10.16	Инв. № подл.	34
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div> <p>1 Нов. 1209-16</p> <p>Изм. Лист № документа</p> </div> <div> <p>25.10.16</p> <p>Подпись Дата</p> </div> <div> <p>16017-43/6-K01.001PP</p> </div> <div> <p>Лист</p> <p>81</p> </div> </div>									

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0/0 + 4,673/198,3 + 0,09379/955,4 = 0,02367 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\left( \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1 \right)$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,05900 \cdot 3,142 \cdot 5800^2 / 4) / 1736 + 0,09379 / 2518 = 0,08981 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

**Свойства материала элемента  $s_1$  ( $s_T$ ):**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_1 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

**Свойства материала элемента  $s_2$ :**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_2 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

$$0,2053 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Проверка условия прочности:  $\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,05900 / 0,2053 + 4,673 / 498,5| + 0,09379 / 722,8 = 0,2969 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

**Свойства материала несущей обечайки:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_k = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

**Свойства материала соседнего элемента:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$  (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_s = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

$$1,033 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Проверка условия прочности:  $\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата	Име. № подл.
81	26.10.16						

И	Нов.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

82

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \right| = |0,05900 / 1,033 + 1,332 / 93,95| + 0,02352 / 23,49 = 0,07228 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

## 16.6. Расчёт в условиях монтажа

### Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, Т: 20 °С  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, М: 0,1455 тс м  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 5,054 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08Х18Н10 при температуре Т = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08Х18Н10 при температуре Т = 20 °С:

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot (14 - 0,8) / (5276 / \cos(69,89) + 14 - 0,8) = 0,3937 \text{ МПа}$$

$$0,3937 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$[M]_{\text{п}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5800 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5800 \cdot (14 - 0,8) \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot \cos(69,89) = 2747 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{т}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 1,687 \cdot 10^4 / 4 \cdot 1,687 \cdot 10^4 \cdot (14 - 0,8) \cdot 229,1 \cdot \cos(69,89) = 2,324 \cdot 10^4 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 1,687 \cdot 10^4 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (1,687 \cdot 10^4 \cdot \cos(69,89))^2 / 1,8 \cdot (100 \cdot (14 - 0,8) / 1,687 \cdot 10^4)^{2,5} = 956,4 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ M_{\text{п}} ; M_{\text{т}} ; M_{\text{Е}} \} = \min \{ 2747, 955,6 \} = 955,6 \text{ тс м}$$

### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \right) \leq 1$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 / 0 + 5,054 / 198,3 + 0,1455 / 955,6 = 0,02564 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

### Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

Свойства материала элемента  $s_1$  ( $s_T$ ):

Подпись и дата		Име. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата	30.06.10.16	Име. № подл.	31																				
<table border="1"> <tr> <td>1</td><td>Нов.</td><td>1209-16</td><td>46</td><td>25.10.16</td><td colspan="5">16017-43/6-K01.001PP</td></tr> <tr> <td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ документа</td><td>Подпись</td><td>Дата</td><td colspan="5"></td></tr> </table>										1	Нов.	1209-16	46	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP					Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата					
1	Нов.	1209-16	46	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP																								
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата																									
									Лист																				
									83																				

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_1 = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

**Свойства материала элемента  $s_2$ :**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_2 = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

Проверка условия прочности:  $\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0 / 0,224 + 5,054 / 543,8| + 0,1455 / 788,5 = 0,009479 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

**Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:**

**Свойства материала несущей обечайки:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_k = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

**Свойства материала соседнего элемента:**

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_s = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

**Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)**

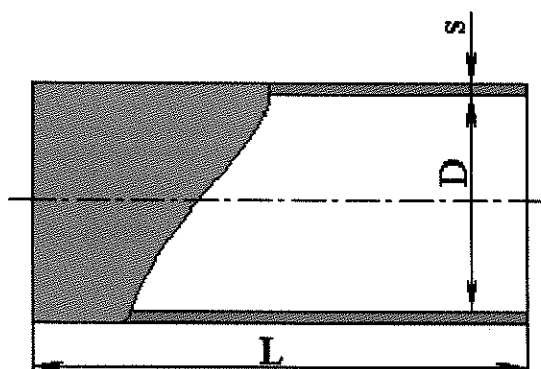
Проверка условия прочности:  $\left( \left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0 / 1,127 + 0,2648 / 102,5| + 0,002893 / 25,62 = 0,002696 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						
31	31.10.16				1	НОВ.	1209-16	31.10.16	16017-43/6-K01.001PP	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата						84

## 17. Расчет штуцера А1



### 17.1. Исходные данные

Материал:	08X18H10
Внутр. диаметр, D:	1004 мм
Толщина стенки, s:	10 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c <sub>1</sub> :	0 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c <sub>2</sub> :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	0,8 мм
Длина обечайки, L:	350 мм

### 17.2. Расчёт в рабочих условиях на внутреннее давление

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	580 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,02000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	0,5021 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	0,2134 тс
Расчётное осевое растягивающее усилие, F:	1,874 тс

#### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C (рабочие условия):

[σ] = 58,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 580 °C :

E = 1,552 · 10<sup>5</sup> МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 1004) / (2 \cdot 58,5 \cdot 1 - 0,02000) + 0,8 = 0,9717 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 58,5 \cdot 1 \cdot (8 - 0,8) / (1004 + 8 - 0,8) = 0,8331 \text{ МПа}$$

0,8331 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Ине. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Подпись и дата
37	30.10.16					
1	Нов.	1209-16	Суб	25.10.16		
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		
16017-43/6-K01.001PP						Лист
						85

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \Phi_T = 3,142 \cdot (1004 + 8 - 0,8) \cdot (8 - 0,8) \cdot 58,5 \cdot 1 = 133,8 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 33,59 / (1 + (33,59 / 252,4)^2)^{1/2} = 33,29 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 703,6 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 33,21 / (1 + (33,21 / 183,6)^2)^{1/2} = 32,68 \text{ тс}$$

### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 0/0 + 0,5021/33,29 + (0,2134/32,68)^2 = 0,01512 \leq 1$$

Закключение: **Условие устойчивости выполнено**

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:  $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (1,874 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 1004^2 / 4) / 133,8 + 0,5021 / 33,59 = 0,04079 \leq 1$$

Закключение: **Условие прочности выполнено**

## 17.3. Расчёт в рабочих условиях на наружное давление

### Условия нагружения:

Расчётная температура, Т:	580 °C
Расчётное наружное избыточное давление, р:	0,01000 МПа
Расчётный изгибающий момент, М:	0,002812 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	0,01620 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	0,1164 тс

Име. № подл.	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
39			30.10.16
1	Ноб.	1209-16	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись Дата
16017-43/6-K01.001PP			
Лист 86			

## Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$  (рабочие условия):

$$[\sigma] = 58,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре  $T = 580^\circ\text{C}$ :

$$E = 1,552 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 703,6 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок:

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \left\{ \frac{1,06 \cdot 10^{-2} \cdot 1004}{703,6 / 1004} \cdot \left( \frac{0,01000}{10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot 0,01000 \cdot 1004}{2 \cdot 58,5 - 0,01000} \right\} = 2,027 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,552 \cdot 10^5 \cdot 1004}{2,4 \cdot 1 \cdot 703,6} \cdot (100 \cdot (8 - 0,8) / 1004)^{2,5} = 0,8359 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 58,5 \cdot (8 - 0,8)}{1004 + 8 - 0,8} = 0,8331 \text{ МПа}$$

$$0,5901 \text{ МПа} \geq 0,01000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_n}{[M]_E} \right)^2}} = \frac{33,59}{\sqrt{1 + (33,59 / 252,4)^2}} = 33,29 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_n}{[Q]_E} \right)^2}} = \frac{33,21}{\sqrt{1 + (33,21 / 183,6)^2}} = 32,68 \text{ тс}$$

### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,5901 + 0,1164 / 880 + 0,002812 / 33,29 + (0,01620 / 32,68)^2 = 0,01716 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата				
1	Нов.	1209-16	Суб	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP			
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата				
					Лист			
					87			

## 17.4. Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T:	20 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p:	0,05900 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	0,001223 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	0,007049 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	0,07558 тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,2 = 210 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,05900 \cdot 1004) / (2 \cdot 210 \cdot 1 - 0,05900) + 0,8 = 0,9411 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 210 \cdot 1 \cdot (10 - 0,8) / (1004 + 10 - 0,8) = 3,814 \text{ МПа}$$

$$3,814 \text{ МПа} \geq 0,05900 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\Gamma}} \right)^2}} = 154,4 / (1 + (154,4 / 800,5)^2)^{1/2} = 151,6 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 703,9 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\Gamma}} \right)^2}} = 152,3 / (1 + (152,3 / 545,1)^2)^{1/2} = 146,7 \text{ тс}$$

### Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left( \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 0,07558 / 2791 + 0,001223 / 151,6 + (0,007049 / 146,7)^2 = 0,3516 \cdot 10^{-4} \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Име. №	Взам. име. №	Подпись и дата	Име. № подл.
38	26.10.16					

1	Нов.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP



Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (1004 + 10 - 0,8) \cdot (10 - 0,8) \cdot 210 \cdot 1 = 615 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: 
$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,05900 \cdot 3,142 \cdot 1004^2 / 4) / 615 + 0,001223 / 154,4 = 0,007603 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

## 17.5. Расчёт в условиях монтажа

### Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T:	20	°C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0	МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	0,003028	тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	0,01745	тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	0,1318	тс

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 252 / 1,1 = 229,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 08X18H10 при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 229,1 \cdot 1 \cdot (10 - 0,8) / (1004 + 10 - 0,8) = 4,16 \text{ МПа}$$

$$4,16 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\text{п}}}{[M]_{\text{е}}} \right)^2}} = 168,4 / (1 + (168,4 / 800,5)^2)^{1/2} = 164,8 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 703,9 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_{\text{п}}}{[Q]_{\text{е}}} \right)^2}} = 166,2 / (1 + (166,2 / 545,1)^2)^{1/2} = 159 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	28.06.10.16
Инв. № подл.	31

1	Нов.	1209-16	Суб	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K01.001PP

Лист

89

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:  $\left( \frac{P}{[P]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{P}{[P]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 0,1318 / 2791 + 0,003028 / 164,8 + (0,01745 / 159)^2 = 0,6562 \cdot 10^{-4} \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					
31	30.06.10.16								
1	Нов.	1209-16			16017-43/6-K01.001PP				
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата					
					Лист				
					90				

## 18. Список литературы

- 1) ГОСТ Р 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.
- 2) ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
- 3) ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
- 4) ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
31	31.08.10.16			

1	Нов.	1209-16	Суб	25.10.16	16017-43/6-K01.001PP	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		91

## 19. Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	№ документа	Входящий № сопроводительного документа и дата	Подпись	Дата
	Измененных	Замененных	Новых	Изъятых					
1	-	1-79	80-92	-	92	1209-16		<i>Суб</i>	25.10.16.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
31	36.06.10 16			

1	НОВ.	1209-16	<i>Суб</i>	25.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

**16017-43/6-K01.001PP**

Лист

92